МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ І ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ОСВІТИ

МАТЕРІАЛИ
X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

3 – 7 червня 2019 року

м. Київ – м. Херсон

Організатори МНТК

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Механіко-машинобудівний інститут

Херсонський національний технічний університет

Партнери МНТК

Міністерство освіти і науки України

Національна академія наук України

Український науково-дослідний інститут авіаційної технології

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича

Донецький фізико -технологічний інститут ім. О.О. Галкіна

ТОВ «Інформаційні технології САПР»

Журнал “Mechanics and Advanced Technologies”

Журнал “Технологічні системи”

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Ільченко М.Ю.	Україна	голова
Бардачов Ю.М.	Україна	співголова
Бобир М.І.	Україна	співголова
Баглюк Г.А	Україна	співголова
Білошенко В.О.	Україна	співголова
Ноговіцин О.В.	Україна	співголова

Алієв І.С.	Україна	Михалевич В.М.	Україна
Балушок К.Б.	Україна	Мозговий В.Ф.	Україна
Бейгельзімер Я.Ю.	Україна	Мозговий О.В.	Україна
Биба М.В.	Великобританія	Огородніков В.А.	Україна
Гогаєв К.О.	Україна	Орлов Д.В.	Швеція
Данильченко Ю.М.	Україна	Петраков Ю.В.	Україна
Дия Г.	Польща	Петросян Г.Л.	Вірменія
Дмитрієв Д.О.	Україна	Решетов О.В.	Великобританія
Добров І.В.	Україна	Розов Ю.Г.	Україна
Драгобецький В.В.	Україна	Рудь В.Д.	Україна
Кавалла Р.	Німеччина	Савчинский І.Г.	Україна
Качан О.Я.	Україна	Савчук П.П.	Україна
Кнапинський М.	Польща	Сошко О.І.	Україна
Кондратюк Е.В.	Україна	Таріков Г.П.	Білорусь
Кривов Г.О.	Україна	Фролов Я.В.	Україна
Кулагін Р.Ю.	Німеччина	Чигиринський В.В.	Україна
Кухарь В.В.	Україна	Чухліб В.Л.	Україна
Лисенко О.М.	Україна	Шалімова Н.Ю.	Україна
Матвійчук В.А.	Україна	Штерн М.Б.	Україна

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ:

Тітов В.А.	голова
Гожій С.П.	заступник голови
Сєліверстов І.А.	заступник голови
Холявік О.В.	вчений секретар
Злочевська Н.К.	технічний секретар

Бойко Ю.П.	Лавріненков А.Д.	Рехта О.С.
Борис Р.С.	Лобов О.О.	Русанов С.А.
Гараненко Т.Р.	Мельниченко О.М.	Сабол С.Ф.
Войтович О.А.	Піманов В.В.	Сохан Д.В.
Кліско А.В.	Рачинський В.В.	Сусорова О.А.
Тітов А.В.	Ткач В.О.	

ЗМІСТ

Стор.

1. **10 РОКІВ МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ І ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ОСВІТИ»…… 10**

2. Ю.М. Бардачов, Ю.Г. Розов, Н.В. Старун
ХНТУ - 60 РОКІВ УСПІХУ І ВПЕВНЕНИЙ ШЛЯХ У МАЙБУТНЄ…… 12

3. Ю.Г. Розов, Д.О. Дмитрієв, Д.Д. Федорчук, С.А. Русанов
ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ФАКТОРІВ ПРИ ПОВЕРХНЕВІЙ ОЗДОБЛЮВАНІЙ ОБРОБЦІ ТИСКОМ НЕ ПРИВОДНИМИ РОЛИКАМИ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ…… 16

4. О.В.Ноговіцин, А.С.Нурадинов, О.Л.Гончаров, В.С.Воропаев, І.Р.Баранов
ВПЛИВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИТОЇ СТРИЧКІ ЗІ СПЛАВУ Д16…… 18

5. Г.А. Баглюк, С.Ф. Кирилюк
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ПОРИСТОЇ ЗАГОТІВКИ В НАПІВВІДКРИТОМУ ШТАМПІ З РУХОМОЮ МАТРИЦЕЮ……... 20

6. В. А. Огороднiков, Т. Ф. Архіпова
АПРОКСИМАЦІЯ ДІАГРАМ ПЛАСТИЧНОСТІ…….. 23

7. А.В. Кузьмов, М.Б. Штерн
ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНСОЛІДАЦІЇ ТРУБЧАТИХ ПОРОШКОВИХ ЗАГОТОВОК ШЛЯХОМ «СКРУЧУВАННЯ ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ»…….. 25

8. Я.Е. Бейгельзимер, Р.Ю. Кулагин, Ю.З. Эстрин, А.А. Давиденко
НОВАЯ ЦЕЛЬ ИПД: МАТЕРИАЛЫ С АРХИТЕКТУРОЙ…….. 28

9. І.С. Алієв, Я.Г. Жбанков, Л.В. Таган
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КУВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬОВАНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ…….. 31

10. В.В.Чигиринский, Е.Н. Науменко
ДИНАМИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ……. 34

11. Е.В. Кондратюк, Ю.І. Торба, А.В. Четверіков, М.О. Гребенніков, Л.Л. Ємел'янова
КОНТРОЛЬ ВИТРАТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩІТКОВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ГАЗОТУРБІННИХ ДІВИГУНІВ…… 37

12. С.Н. Пахомов
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОКОПОДВОДЯЩИХ УЗЛОВ В УСЛОВИЯХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ЮЖНОЕ» ИМЕНИ М.К. ЯНГЕЛЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ…….. 39

13. И.К. Огинский, К.В. Таратута
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ БЕССЛИТКОВОЙ ПРОКАТКИ……. 42

14. В.Т. Сікульський, В.Ю. Кащєєва
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ І ДОВЕДЕННЯ ФОРМИ РЕБРИСТИХ ПАНЕЛЕЙ ЛОКАЛЬНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ РЕБЕР…… 45

15. А.Г. Пригунова, А.В. Ноговицын, И.Р. Баранов, М.В. Кошелев
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТА ИЗ СПЛАВА Д16, ПОЛУЧЕННОГО ЛИТЬЕМ-ПРОКАТКОЙ…….. 48

Стор.

16. О.В. Мозговий
ВТРАТИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВОЛОКНИСТИМИ КОМПОЗИТАМИ З ПОЛІМЕРНОЮ МАТРИЦЕЮ…….. 50
17. А.В. Тітов, Т.Р. Гараненко, А.В. Кліско, В.О. Корева
ПОБУДОВА ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ВІД ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗГИН ДЛЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ6….. 54
18. Є.Е. Бергер
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАСТИЛ ПІД ЧАС ВОЛОЧІННЯ…….. 56
19. О. Є. Марков, О. В. Герасименко, А. С. Хващинський
РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОФІЛЬОВАННЯ ТА ОСАДЖЕННЯ ЗАГОТОВОК……. 58
20. Р.Г. Пузир, Р.Г. Аргат, Р.А. Вакуленко, О.М. Кузьміна, О.О. Пєдун
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗАГОТОВКИ, ЩО УСУВАЄ ВТРАТУ СТІЙКОСТІ ФЛАНЦЯ ПРИ ВИТЯГУВАННІ…… 61
21. О.Г. Курпе, В.В. Кухар
ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНВЕКЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІНУ В РОЗРАХУНКАХ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СМУГИ ПРИ ТЕРМОМЕХАНІЧНІЙ ПРОКАТЦІ……. 65
22. Р. І. Сивак
ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ АНІЗОТРОПНО ЗМІЦНЮВАНОГО ТІЛА ПРИ НЕМОНОТОННІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ……. 67
23. Л.Ф. Головко, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, С.С. Салій, І.В. Свічкар
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВАНИ РОЗПЛАВУ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОМУ МЕТОДІ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ…… 69
24. О.В. Алтухов, О.Ф. Тарасов
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ…… 70
25. В.П. Ламашевський, В.А. Тітов, В.П. Швець, Н.К. Злочевська
ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАПІВФАБРИКАТІВ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ……. 72
26. В.А. Матвійчук, В. М. Михалевич
МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМІВНОСТІ ЗАГОТОВОК НА ОКРЕМИХ ПЕРЕХОДАХ ВАЛЬЦЮВАННЯ……... 76
27. Аріф Намоглу, В.Л. Чухліб, В.Д. Мішалов, О.О. Філіппі, Ю.Ю. Зубко, Є.В. Пиндич
РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ПЛАНУВАННЯ ВИТРАТ МЕТАЛУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПОКОВОК ВІЛЬНИМ КУВАННЯМ В УМОВАХ КОВАЛЬСЬКО-ТЕРМІЧНОГО ЦЕХА ТОВ «ДНІПРОПРЕС СТАЛЬ»…… 78
28. Р.М. Юзефович, М.З. Варивода, І.М. Яворський, П.Р. Курапов
АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ……... 80

Стор.

29. Г. Я. Акимов, И. В. Андреев, И. Ю. Тросникова, Т. А. Соловьева, Ю. Н. Романенко, В. И. Шеремет.
ХОЛОДНОЕ ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8……. 83

30. Л.Ф. Головко, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, С.С. Салій, О.А. Литвиненко
РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ГНУТИХ БІМЕТАЛІВ ТА БІМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ КУТОВОГО ТИПУ…… 86

31. Л.Ф. Головко, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, С.С. Салій, І.В. Свічкар
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПЕРЕХІДНОЇ ЗОНИ ПРИ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОМУ МЕТОДІ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ…….. 88

32. М.В. Орлюк, В.В. Піманов, А.В. Савченко
ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДНОГО РОТАЦІЙНОГО ВИТЯГУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАСТИЧНОЇ І ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ МАТЕРІАЛУ……... 89

33. I.V. Dobrov, A.V. Semichev, E.P. Morozenko, A.V. Koptilyy
TO THE QUESTION OF KINEMATICS OF THE DEFORMATION ZONE DURING PRESSING OF THE STRIP……. 93

34. В.О. Горохов
ФІНІШНА ОБРОБКА ПОВЕРХНІ МЕХАНІЗМУ НИЖНЬОГО БОЮ ТКАЦЬКОГО ВЕРСТАТУ…….. 96

35. О.В. Грубник, В.О. Сошко
КВАНТОВІ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК В ОБЛАСТІ РОЗКРИТТЯ НОВОЇ ПОВЕРХНІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДЕФОРМАЦІЮ І РУЙНУВАННЯ ТВЕРДОГО ТІЛА В УМОВАХ ЙОГО ВЗАЄМОДІЇ З СЕРЕДОВИЩЕМ……... 99

36. О.І. Клюєв, С.А. Русанов, К.В. Луняка
ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ РІДИНИ ПО ТРУБАХ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ВВЕДЕННЯ РІДИНИ В АПАРАТ І СТВОРЕННЯ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ…… 103

37. В.М. Литвиненко, Є.О. Баганов, І.М. Вікулін, В.Е. Горбачов, І.Ф. Погребняк
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРЕМНІЄВОГО ВАРИКАПА З ОМІЧНИМ КОНТАКТОМ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ…… 104

38. П.В. Луб’яний, В.В. Бондаренко
ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПАСАЖИРОПОТОКІВ…….. 107

39. Ю.Є Мєшков
ДО ПИТАННЯ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ…….. 109

40. Б.М. Мацків, О.О. Лобов, Д.Д. Федорчук
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ МЕХАНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛЕВОЇ ПРОВОЛОКИ…… 112

41. С.Р. Сєліверстова, І.А. Сєліверстов, І.В. Смирнов
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МОТИВАЦІЇ УЧБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ……. 114

42. В.П. Славич, М.Ю. Услистий
МОДЕЛЬ ВИБОРУ НАЙШВИДШОГО ШЛЯХУ ТРАНСПОРТНОГО РУХУ У ВИПАДКУ ВИНИКНЕННЯ ЗАТОРУ НА МЕРЕЖІ…….. 116

43. А.И. Сошко, В.А. Сошко
МЕХАНОПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ ДАВЛЕНИЕМ…….. 119

Стор.

44. Т.В. Маломуж, В.О. Ткач, О.А. Войтович
ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ЗАСОБАМИ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ…….. 120
45. О.А.Закора, І.А.Сєліверстов, С.Р.Сєліверстова
УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУРНОЇ БАЗИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СКЛЕРОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОКРИТТІВ……. 122
46. І.С. Алієв, В.Л. Калюжний, В.М. Левченко, Л.І. Алієва
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ……. 124
47. Л.І. Алієва, В.М. Левченко, Х.В. Малій
ПОЕТАПНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ПУСТОТІЛИХ ДЕТАЛЕЙ РУХОМИМИ ФОРМОУТВОРЮЮЧИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ …… 126
48. І.С. Алієв, В.М. Левченко, М.Ю. Корденко
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАПІВМАТРИЦЬ НА ФЕСТОНОУТВОРЕННЯ ПРИ БОКОВОМУ ВИДАВЛЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ З ВІДРОСТКАМИ…… 129
49. І.С. Алієв, А.Д.Самоглядов
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ КОНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ……. 131
50. І.С. Алієв, П. Б. Абхарі, О.А. Кузенко
ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗМІННОЮ ТОВЩИНОЮ СТІНКИ В ПРОЦЕСІ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ… 134
51. В. М. Петля, О. С. Бобух, В. В. Андреєв
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВОЛОЧІННЯ ДРОТУ У ПП QFORM…….. 137
52. В.Л. Калюжний, К.К. Таранець
ГАРЯЧЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ…… 141
53. Т.Н. Можаровская, В.Н. Можаровский
ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СТАЛИ 15Х2МФА (Т=550ºС) ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ……. 144
54. В.В. Кухар, М.М. Нагнібеда
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТА ПРУЖИЕНЕННЯ ПРИ БАГАТОПЕРЕХІДНОМУ ГНУТТІ ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ…….. 147
55. В.Ю. Клименко, В.Ф. Мозговой, К.Б. Балушок
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ЛОПАТКАХ ГТД…… 149
56. В.А. Тітов, А.М. Бень
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЯКІСТЬ ТИТАНОВИХ РОБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА, ОТРИМАНИХ ВИДАВЛЮВАННЯМ…….. 151
57. М.В. Орлюк, А.Д. Лавріненков, А.А. Шупіченко
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ГІЛЬЗИ ГРАНАТОМЕТУ ІЗ СПЛАВУ Д16Т…….. 154
58. Н.К. Злочевська, М.В. Биба, А.Д. Лавріненков, С.В. Ситник, Т.Г. Машталір
ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СХЕМ ДЕФОРМУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОЇ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ ……... 157
59. Л.В. Шмельова, А.Д. Супрун, С.М. Єжов
ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ НАНОСТРУКТУР, УТВОРЕНИХ ФЕМТОСЕКУНДНИМИ ЛАЗЕРНИМИ ІМПУЛЬСАМИ……. 159

Стор.

60. М.С. Хома, І.О. Рябцев, В.А.Винар, Х.Б.Василів, Н.Б.Рацька, В.Р. Івашків, Є.Ф.Перепльотчіков
КОРОЗІЙНА ТА ТРИБОКОРОЗІЙНА ПОВЕДІНКА ПЛАЗМО-ПОРОШКОВИХ ПОКРИТТІВ…… **162**

61. В.А. Тітов, Р.С. Борис, А.В. Чорний
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ НАУКОЄМНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ З ШАРУВАТИХ МЕТАЛЕВИХ ТА МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ…….. **166**

62. В.А. Тітов, Т.Р. Гараненко, А.Д. Лавриненков
ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ФРАГМЕНТУ ПОРОЖНИСТОЇ ЛОПАТКИ…….. **168**

63. І.В. Ночніченко, О.М. Яхно, О.Ф. Луговський, О.О. Томашевський
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО КАВІТАЦІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS……... **172**

64. І.В. Ночніченко, М.Л., Бекерман, А.О. Лавренюк
ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ ДЛЯ КАВІТАЦІЇ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ……. **175**

65. Р.О. Скотар, О.В. Холявік, В.І. Стеблюк
РОЗДАЧА ВІДКРИТОГО КРАЮ ТРУБЧАСТОЇ ЗАГОТОВКИ З РАДІАЛЬНИМ ПІДПОРОМ…… **179**

66. М.К. Князєв, А.С. Серафімович
ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ШТАМПУВАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ В ФОРМІ СФЕРИЧНИХ СЕГМЕНТІВ…… **182**

67. О.В. Грушко, О.В.Гуцалюк
МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ПРОЦЕСАХ ВІСЕСИМЕТРИЧНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ……... **185**

68. Штода М.Н., Максименко О.П.
УШИРЕНИЕ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ С НАТЯЖЕНИЕМ В СИСТЕМЕ ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ «ОВАЛ - КРУГ»……. **188**

69. В.А. Тітов, О.С. Рехта
ФОРМОУТВОРЕННЯ КОРОБЧАСТОГО ВИРОБУ З ПОХИЛИМИ СТІНКАМИ В ІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВА ТИСКОМ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА…….. **191**

70. І.А. Шатохіна
ВИБІР МОДЕЛІ ОБСТЕЖЕННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ…….. **193**

71. С.В. Якименко
ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНА ФУНКЦІЯ МАРКЕТИНГУ НА ТРАНСПОРТІ.. **195**

72. І.А. Шатохіна
УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ МАРШРУТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ……... **198**

73. Є.М. Смірнов, В.О. Скляр
ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАТАНКИ Ø8 ММ З МІДІ ВОГНЕВОГО РАФІНУВАННЯ МАРКИ КМОР…… **202**

74. С.П. Гожий, А.В. Клиско
ОБЪЕМНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДИСКОВЫХ, ФЛАНЦЕВЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОДВИЖНОГО ЛОКАЛИЗОВАННОГО ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ…… **205**

75. В.А. Титов, В.И. Малышко, Т.М. Лабур, Г.Ю Сафонов
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ СВАРНЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ ТЕРМОУПРОЧНЯЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ……... **210**

10 РОКІВ МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ І ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ОСВІТИ»

Вже 10 років МНТК «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти» збирає науковців та фахівців підприємств та організацій України та зарубіжжя.

Міжнародна науково-технічна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском (ОМТ) і якості фахової освіти» започаткована у 2010 році кафедрою «Механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів» Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на честь 80-річчя заснування кафедри, як структурного підрозділу. При цьому підготовка фахівців з обробки матеріалів тиском в КПІ ім. Ігоря Сікорського почалась з дати його заснування – вересень 1898 року. Тому започаткування конференції це продовження стратегічної лінії КПІ ім. Ігоря Сікорського та слідування традиціям у напрямку фахової освіти та сучасної підготовки фахівців у галузі ОМТ.

Конференція була створена для розширення інформаційного простору, інтеграції та розвитку наукових шкіл технічних університетів і НАН України, залучення обдарованої молоді до наукової діяльності, сприянню співробітництва між науковими колективами і промисловістю, а також ознайомлення з новітніми досягненнями в галузі ОМТ.

Новий етап розвитку МНТК отримала у 2016 році, коли співорганізатором конференції виступив Херсонський національний технічний університет. Вперше місцем проведення Міжнародної конференції обрано м. Залізний Порт Херсонської області. В цей час розширилась тематика конференції. Вона включала наступні найбільш актуальні напрямки наукових досліджень:

1. Теоретичні та практичні проблеми пластичного формоутворення конструкцій машинобудування;
2. Підвищення ресурсу та експлуатаційної надійності виробів машинобудування технологічними методами;
3. Інформаційні технології в підготовці виробництва виробів в сучасному машинобудуванні;
4. Інтенсивна пластична деформація;
5. Тенденції розвитку обладнання ОМТ та інших процесів;
6. Проблеми технічного розвитку промислових комплексів;
7. Забезпечення якості фахової освіти.

Традиційно в роботі конференції прийняли участь представники наукових шкіл:

1. Вищих навчальних закладів:
- КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- Вінницького національного технічного університету;
- Херсонського національного технічного університету;
- Донбаської державної машинобудівної академії;
- Приазовського національного технічного університету;
- Запорізького національного технічного університету;
- Національної металургійної академії України м. Дніпро;
2. Інститутів НАН України:
- Інституту проблем матеріалознавства НАН України ім. І.М. Францевича;
- Фізико-технологічного інституту металів і сплавів НАН України;
- Інституту металофізики НАН України ім. Г.В. Курдюмова;

3. Промислових машинобудівних підприємств України:
- Державного конструкторського бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля; м. Дніпро;
- Акціонерного товариства «Мотор Січ»; м. Запоріжжя;
- Запорізького машинобудівного конструкторського бюро «Прогрес» ім. О.Г. Івченко;
- ТОВ "Інформаційні технології САПР";
- ТОВ «Югтехпроммонтаж».

4. «Спілки ковалів» Російської Федерації (заступник голови спілки к.т.н. Савчинський І.Г).

На пленарних та секційних засіданнях конференції щорічно представлені доповіді про нові досягнення в галузі обробки металів тиском: член-кор. НАН України Гогаєва К.О., докторів наук (в тому числі Алієва І.С., Бардачова Ю.М., Доброва І.В., Огороднікова В.А., Розова Ю.Г., Тітова В.А., Чигиринського В.В. та інших), а також кандидатів наук та представників підприємств.

В рамках конференції планово заслуховувались у повному обсязі та обговорювались для рекомендації до захисту докторські та кандидатські дисертації.

За результатами роботи щорічно видаються матеріали конференції окремим збірником. Започаткована серія томів колективної монографії під загальною назвою «Теорія та практика обробки матеріалів тиском».

Матеріали конференції надсилаються в бібліотеки та в електронному вигляді провідним закордонним вченим в галузі ОМТ та технології машинобудування Білорусії, Великобританії, Вірменії, Німеччини, Китаю, Франції та інших країн.

Проведення Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти» надало можливість на основі обміну інформацією та останніми науковими результатами, сприяти розширенню участі у міжнародних та європейських програмах, входженню у світовий науковий простір, налагодженню зв'язків між науковими та промисловими підприємствами.

Голова організаційного комітету конференції
проф. В.А. Тітов

УДК 378:37.07

Ю.М. Бардачов, Ю.Г. Розов, Н.В. Старун
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ХНТУ - 60 РОКІВ УСПІХУ І ВПЕВНЕНИЙ ШЛЯХ У МАЙБУТНЄ

Херсонський національній технічний університет – один з провідних вищих навчальних закладів, визнаний в не тільки в Україні, а й за її межами, який поєднує в своїй діяльності класичні університетські традиції та сучасні освітні технології.

Історія ХНТУ розпочинається з 1959 р., з моменту відкриття в Херсоні навчально-консультаційного пункту Київського технологічного інституту легкої промисловості, для задоволення потреби в кадрах Херсонського бавовняного комбінату.

В 1960 році навчально-консультаційний пункт реорганізовано в Херсонський загально-технічний факультет цього ж інституту і розпочато підготовку інженерів текстильної і легкої промисловості.

У 1961 році факультет було передано Одеському технологічному інституту ім. М. В. Ломоносова.

В 1962 році перетворено в Херсонський філіал названого інституту (ХФОТІ). Незважаючи на статус філіалу, ХФОТІ вже до кінця 60-х років став дієздатним вищим навчальним закладом, у якому готували фахівців з семи спеціальностей текстильної промисловості, машинобудування, автоматизації виробничих процесів, економіки. При філіалі було відкрито текстильний вечірній технікум, аспірантуру, підготовка інженерів здійснювалась на п’яти факультетах.

У грудні 1980 року на базі ХФОТІ було відкрито самостійний вищий навчальний заклад – Херсонський індустріальний інститут. Уже в ті роки інститут був осередком розвитку освіти й науки в Херсоні і області.

Значний внесок у розвиток вітчизняної науки зробили вчені, які працювали, і багато з яких і досі працює в ХНТУ: текстильник Морін Ю. Ф., хімік Андросов В. Ф., економіст Стерлін Ю. А., машинобудівник Гостєв В. В., Заслужений машинобудівник України Бондарєв Є. І., член Нью - Йоркської академії наук професор С.Й. Крічмар, лауреати Державної премії України з науки і техніки професор Г.С. Сарібеков і доцент В.П. Гнідець, Заслужені діячі науки і техніки професори Ю.М. Бардачов, Ю.Г. Розов, Савіна Г.Г. Заслужені працівники освіти України професори Рогальський Ф.Б., Крючковський В.В., Чурсіна Л.А., Лопушинський І.П.; Заслужений винахідник СРСР професор Лубяний В.З., тощо

Університет пройшов славетний 60-ти річний шлях від факультету до Національного університету. За роки існування наш вуз досяг заслуженого визнання. Він першим серед вузів Херсонщини отримав статус Університету та єдиний в області має статус Національного! (Статус університету надано у 1997 році на підставі Постанови Кабінету Міністрів України від 24 березня 1997 року № 254, коли на базі Херсонського індустріального інституту було створено Херсонський державний технічний університет. На підставі Указу Президента України від 15 листопада 2004 року № 1403/ 2004 Херсонському державному університету надано статус Національного).

Сьогодні Херсонський національний технічний університет – це навчальний заклад, що перебуває у постійному творчому пошуку і в останні роки спромігся вийти на якісно новий рівень розвитку, це сучасний освітній центр, який реалізує програми підготовки та підвищення кваліфікації фахівців, а також виконує науково-дослідницькі роботи для підприємств, організацій та закладів галузей машинобудування, текстильної, харчової та легкої промисловості, технічної і економічної кібернетики, електроніки, менеджменту, економіки, комп’ютерних наук, комп’ютерної інженерії тощо.

Впродовж останнього десятиріччя колектив університету доклав чимало зусиль для оновлення переліку спеціальностей, відкривши низку нових спеціальностей, актуальних для південного регіону. На підставі відомостей щодо здійснення освітньої діяльності у сфері вищої освіти (наказ МОН України від 15.05.2017 року № 96-л «Про переоформлення ліцензії на освітню діяльність у сфері вищої освіти») університет надає освітні послуги за відповідними освітньо-професійними, освітньо-науковими, науковими програмами з 17 галузей знань на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти, другому (магістерському) рівні вищої освіти, третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти.

Престиж університету визначається рівнем підготовки його студентів.

За роки існування університету підготовлено понад 40 тисяч фахівців. Про вагомий внесок університету у розвиток регіону свідчить той факт, що значна частина керівників та інженерно-технічний працівників працюють не лише на півдні України, але й всієї України та ближнього зарубіжжя, а також в адміністративних обласних та районних місцевих рад, фінансових установ, машинобудівних, харчових, хімічних та інших підприємств області.

Тож формування контингенту студентів особливе завдання для колективу університету, яке розглядається, як складова, що найбільшою мірою визначає успішність навчального закладу, його фінансові можливості та штатний розпис. Системна робота з формування та збереження контингенту є можливою лише з урахуванням регіональних потреб у фахівцях з вищою освітою та налагодженням ефективної співпраці університету з роботодавцями. Важливе значення для отримання потрібного достатнього обсягу практичних знань і умінь має практика студентів. За останні роки було оформлено більше 200 договорів зі 150 підприємствами. Що наважливе, перелік та кількість баз практики щорічно оновлюється з урахуванням нових спеціальностей та потреб регіонального ринку праці. Окрім традиційної форми практики в ХНТУ запроваджена дуальна форма навчання, яка передбачає поєднання аудиторного навчання з навчанням на робочих місцях на підприємствах для набуття певної кваліфікації.

Таким чином, в умовах складної демографічної та економічної ситуації, яка склалася сьогодні в Україні, зусилля університету направлені на збереження контингенту студентів шляхом удосконалення системи профорієнтаційних заходів; активізації рекламної кампанії; відкриття нових затребуваних на ринку праці освітньо-професійних програм; побудови системи ступеневої освіти та зарахування до університету абітурієнтів зі скороченим терміном навчання на базі ОКР «молодшого спеціаліста»; залучення до навчання іноземних громадян тощо.

Особливе місце у професійній підготовці студентів належить їх науково-дослідній роботі. Наявність цього виду спеціальної підготовки пов'язано з особливостями спеціальностей і має на меті прищепити студентам навички самостійної дослідницької роботи. Вже традиційно спільні результати наукових досліджень провідних вчених і молодих науковців університету широко використовуються у спільних роботах з науковими установами Національної академії наук України та національних галузевих академій наук при проведенні наукових семінарів, обговоренні дисертаційних робіт аспірантів і здобувачів, організацій та участі у спільних наукових конференціях, проводиться стажування науково-педагогічних працівників університету в науково-дослідних установах, здійснюється спільна видавнича діяльність.

Одночасно в умовах світової глобалізації, входження України в Європейський простір процес виховання має забезпечувати залучення молоді до світової культури та загальнолюдських цінностей і норм, формування толерантності до інших точок зору, розуміння відмінностей між людьми у культурі, побуті та звичаях, у переконаннях і віруваннях як між народами, так і між етнічними, релігійними та іншими групами. Професорсько-викладацький склад на сучасному етапі вважає своїм головним завданням не лише підготовку фахівців високої кваліфікації, але й виховання національно свідомого громадянина, культурно розвиненої інтелігентної особистості. Це досягається насамперед за рахунок гуманітаризації та гуманізації освіти шляхом введення до навчальних планів відповідних дисциплін, а також взаємопроникнення гуманітарних і професійних дисциплін. Оцінка стану виховної роботи, створення соціально-педагогічних умов зі студентською молоддю, їх результативність в ХНТУ

здійснюється за комплексними показниками як кількісними, так і якісними: показники успішності навчання з навчальних дисциплін; стосунки в академічних групах; аналіз виконання студентами правил внутрішнього розпорядку; правової поведінки, кількість правопорушень; виконання комплексу заходів з виховної роботи; якість проведених заходів, кількість студентів у творчих об'єднаннях, гуртках, учасників спартакіад, фестивалів тощо; участь молоді в різноманітних громадянських, патріотичних акціях; результати соціологічних досліджень, які відображають моральні, політичні, соціальні, культурні орієнтації студентів.

Отже саме поєднання наукової, методичної, навчально-виховної та організаційної основи з динамічною системою навчання забезпечують належний рівень професійних знань випускників усіх спеціальностей.

ХНТУ організовує процес навчання за рейтинговою системою оцінки знань, що спрямована на заохочення активної, систематичної, творчої роботи студента протягом семестру, виховання відповідальності за результати навчання. На основі рейтингового оцінювання знань та вмінь студентів запроваджено систему конкурсного відбору студентів для призначення стипендій, переводу студентів з контрактної форми навчання на бюджетну.

В своїй діяльності адміністрація університету постійно приділяє увагу дотриманню вимог щодо забезпечення комфортних умов особам з особливими потрібностями, для цього в університеті впроваджується система супроводу навчання, яка включає новітні освітні технології. Йдеться про застосування інтерактивних форм викладання: ситуаційні вправи, кейси, ігрові технології, проблемне навчання, індивідуалізоване, програмоване навчання тощо. На виконання Указу Президента України від 02 грудня 2017 року № 401/ 2017 « Про внесення змін до п. 3 про національний заклад (установу) України» в ХНТУ будо розроблебно Порядок супроводу (надання допомоги) осіб з інвалідністю та інших мало мобільних груп населення, який містить умови забезпечення безперешкодного доступу осіб з особливими потребами в приміщеннях університету та визначає дії відповідальних осіб щодо забезпечення зручності і комфортності іх перебування в університеті.

В ХНТУ особлива увага приділяється розвитку єдиного інформаційного середовища, в якому забезпечується автоматизація основних процесів діяльності університету. Так у Херсонському національному технічному університеті створений освітній дата-центр, який без перебільшення можна віднести до стратегічних освітніх ресурсів регіонального масштабу. Дата-центр має мережеву підсистему, побудовану на обладнанні компанії Cisco, обчислювальну підсистему, ядром якої служить лезвійний сервер фірми Oracle, а також всі необхідні інженерні підсистеми. В даний час дата-центр ХНТУ використовується для централізованого управління об'єднаною ІКТ-інфраструктурою Херсонських ВНЗ та розміщення їх освітніх електронних ресурсів.

Локальна комп'ютерна мережа забезпечує доступ студентів, викладачів і співробітників ХНТУ до всіх мережних служб і інформаційних ресурсів ХНТУ (корпоративна пошта, офіційний сайт, система електронного навчання та ін.), а також до Інтернету і іншим глобальних комп'ютерних мереж.

У корпоративному віртуальному навчальному середовищі ХНТУ, що функціонує на платформі Moodle (адреса в Інтернет: moodle.kntu.net.ua), організована напівавтоматична реєстрація студентів та закріплення їх за академічними групами. В даний час в системі зареєстровано і підтримується 4382 користувачів (студентів і співробітників ХНТУ).

В університеті усі дисципліни викладаються з використанням сучасних технологій: лекції в електронній формі з демонстраційними слайдами; використання мультимедійних проекторів і персональних комп’ютерів; використання матеріалів, що містяться в електронних навчальних курсах та Інтернет-ресурсах навчального призначення.

Кафедри надають студентам відповідні методичні та інформаційні матеріали в достатньому обсязі відповідно до нормативних потреб. Для багатьох дисциплін науково-педагогічними працівниками розроблено електронні навчальні курси. Студенти мають вільний доступ до мережі Internet та електронних навчальних курсів із навчальних корпусів університету та гуртожитків.

Для забезпечення доступу студентів і викладачів до електронних ресурсів ХНТУ з мобільних пристроїв були розгорнуті Wi-Fi зони.

На основі організації Wi-Fi доступу до інформаційних ресурсів ХНТУ в навчальний процес впроваджена нова сучасна стратегія Bring Your Own Device («Принеси Свій Власний Пристрій», BYOD), яка дозволяє студентам і викладачам приносити на заняття свої власні мобільні комп'ютерні пристрої (ноутбуки, планшети, смартфони) і використовувати їх нарівні з встановленими в аудиторіях стаціонарними комп'ютерами

Відповідно до Наказу МОН № 1286 від 19.09.2017, за результатами конкурсу серед регіональних ВНЗ, ХНТУ отримав доступ до бібліографічної та реферативної бази даних Scopus (https://www.scopus.com). Протягом 2018 року доступ студентам і співробітникам до бібліографічної та реферативної бази даних Scopus надавався через бібліотеку ХНТУ та локальну мережу університету.

ХНТУ входить до складу засновників Асоціації користувачів Української науково-освітньої телекомунікаційної мережі «УРАН» з 1997 року.

Через мережу УРАН ХНТУ має підключення до пан-Європейської мультигігабітної науково-освітньої мережі GÉANT, яка об'єднує понад 8000 наукових і освітніх організацій і понад 40 млн. користувачів. Завдяки включенню в мережу GÉANT університет має можливість проводити спільні наукові дослідження, кооперуватися для впровадження нових освітніх програм і технологій.

Міжнародне співробітництво є одним з пріоритетів діяльності Херсонського національного технічного університету. Сьогодні ХНТУ- сучасний освітній центр, що відкриває свою скарбницю знань світових та національних цінностей науки і культури перед молоддю не тільки південного регіону, але й усієї України та інших держав. Університет є членом 12 міжнародних і державних асоціацій, зокрема Європейської вітроенергетичної асоціації, міжнародної організації "Консорціум із вдосконалення менеджменту-освіти в Україні", Українсько-Британської асоціації викладачів обліку і аудиту. При університеті функціонують відділення Національної академії наук України та декількох галузевих академій. Університет співпрацює з ЗВО Нідерландів, Польщі, Великої Британії, США, Китаю, Туреччини, Греції, Єгипту, країн СНД. Крім цього, університет є партнером Агентства міжнародного розвитку США та одним із засновників Української асоціації з розвитку менеджменту та бізнес-освіти.

Попереду – нові плани, творчі досягнення і заманливі перспективи майбутнього. Майбутнє університету закладається вже сьогодні

Але ж для університету найголовніше полягає у втіленні мети системи освіти – навчити людину вчитися впродовж життя, навчити знати й пізнавати, сприймати і відчувати найперспективніші напрями інноваційного розвитку економіки, що базуються на синтезі науки, інноваційної освіти і підготовки кадрів. Мети, досягнення якої дасть можливість найбільш ефективно використати найвищу цінність сьогодення – людський капітал.

Напрями розвитку діяльності університету передбачають спрямування освітньої політики на досягнення рівня провідних технічних університетів країн Європи шляхом подальшого удосконалення організації навчального процесу, розширення наукових досліджень та підвищення їх ефективності, розвитку міжнародного співробітництва, удосконалення економіко-фінансової діяльності університету, розвитку матеріально-технічної бази та поліпшення рівня соціального забезпечення життєдіяльності студентів і співробітників.

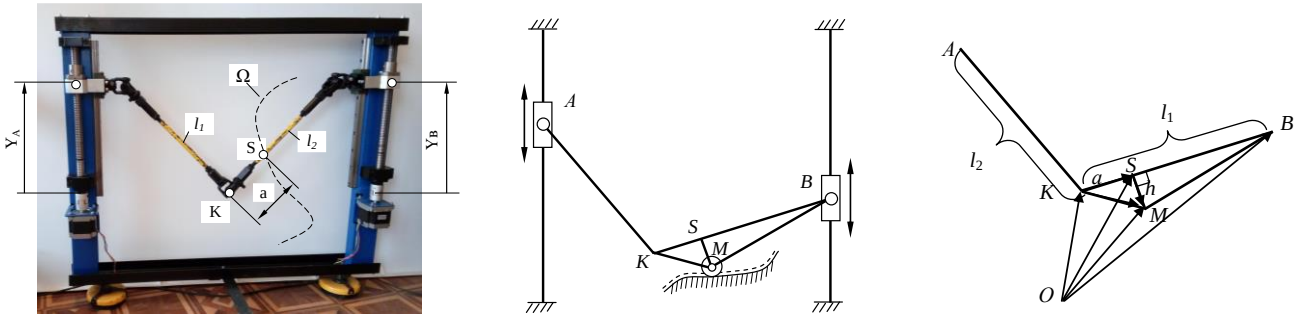
Майбутнє університету – це створення УНІВЕРСИТЕТУ МАЙБУТНЬОГО!

УДК 621.9

Ю.Г. Розов, Д.О. Дмитрієв, Д.Д. Федорчук, С.А. Русанов
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ФАКТОРІВ ПРИ ПОВЕРХНЕВІЙ ОЗДОБЛЮВАНІЙ ОБРОБЦІ ТИСКОМ НЕ ПРИВОДНИМИ РОЛИКАМИ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ

В роботі досліджено конструктивно-посилений шарнірний механізм [1-3], що може бути використано для обробки тиском не приводними роликами складних поверхонь (рис.1).



а) б) в)

Рис. 1. Шарнірний механізм обробки (а), кінематична схема (б) і розрахункова векторна схема основних ланок (в)

Для аналізу роботи механізму та генерування керуючих команд необхідно, по-перше, вирішити відповідну зворотню кінематичну задачу – за заданою траєкторією ролику М знайти позиції кареток А і В як функції часу.

При $BK=l_1$, тобто $(X_B - X_K)^2 + (Y_B - Y_K)^2 = l_1^2$ і $KA=l_2$, тобто $(X_K - X_A)^2 + (Y_K - Y_A)^2 = l_2^2$ отримаємо розв'язок кінематичної задачі:

$$Y_B = \left(1 - \frac{a}{l_1}\right)\left[\mp\sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{Y_S}{1 - \frac{a}{l_1}}\right]; \qquad Y_K = \frac{Y_S}{1 - \frac{a}{l_1}} - \left[\mp\sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{Y_S}{1 - \frac{a}{l_1}}\right]\frac{a}{l_1};$$

$$Y_A = \mp\sqrt{l_2^2 - (X_K - X_A)^2} + \frac{Y_S}{1 - \frac{a}{l_1}} - \left[\mp\sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{Y_S}{1 - \frac{a}{l_1}}\right]\frac{a}{l_1}.$$

Вказаний алгоритм реалізовано в програмному середовищі Maple – для заданої траєкторії ролика отримується положення всіх значущих вузлів механізму.

Результати кінематичного розрахунку (зворотня задача) можуть бути використані для розрахунку напружено-деформованого стану системи. Для цієї мети було використано систему ToolsResponse скінченно-елементного аналізу просторових механізмів [4]. Основним питанням є завдання граничних умов, що відповідають задачі контакту ролика з оброблювальною деталлю, оскільки визначення сили відтискання є достатньо складною задачею. Більш фізичним є завдання безпосередньо відтискання по заданому напрямку ролика в контакті з заготовкою, при цьому можливо декілька варіантів розглядання:

- жорстке завдання відтискання

$$\mathbf{u}_M = \begin{bmatrix} u_{Mx}(t) \\ u_{My}(t) \end{bmatrix}$$

- завдання відтискання за деяким напрямком **n** та вільності уздовж дотичної до траєкторії τ:

$$\mathbf{u}_M \cdot \mathbf{n} = U(t),$$

$$\mathbf{P} \cdot \boldsymbol{\tau} = 0,$$

За вказаним алгоритмом проводиться розрахунок жорсткості за весь цикл обробки з прорахуванням зусиль в шарнірах та сили відтискання. Можливе швидке порівняння компоновок (рис. 2).

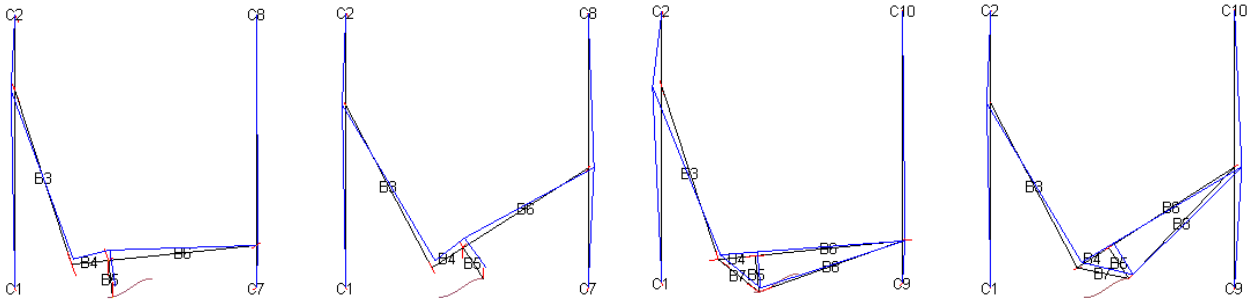


Рис. 2. Приклади швидкого порівняння компоновок за критеріями пружності

За зусиллями, що відповідають навантаженню на каретки, можливе прогнозування потужностей двигунів, сила обробки (навантаження на ролик, що необхідна для проведення обробки з наперед заданим відтисканням) (рис. 3).

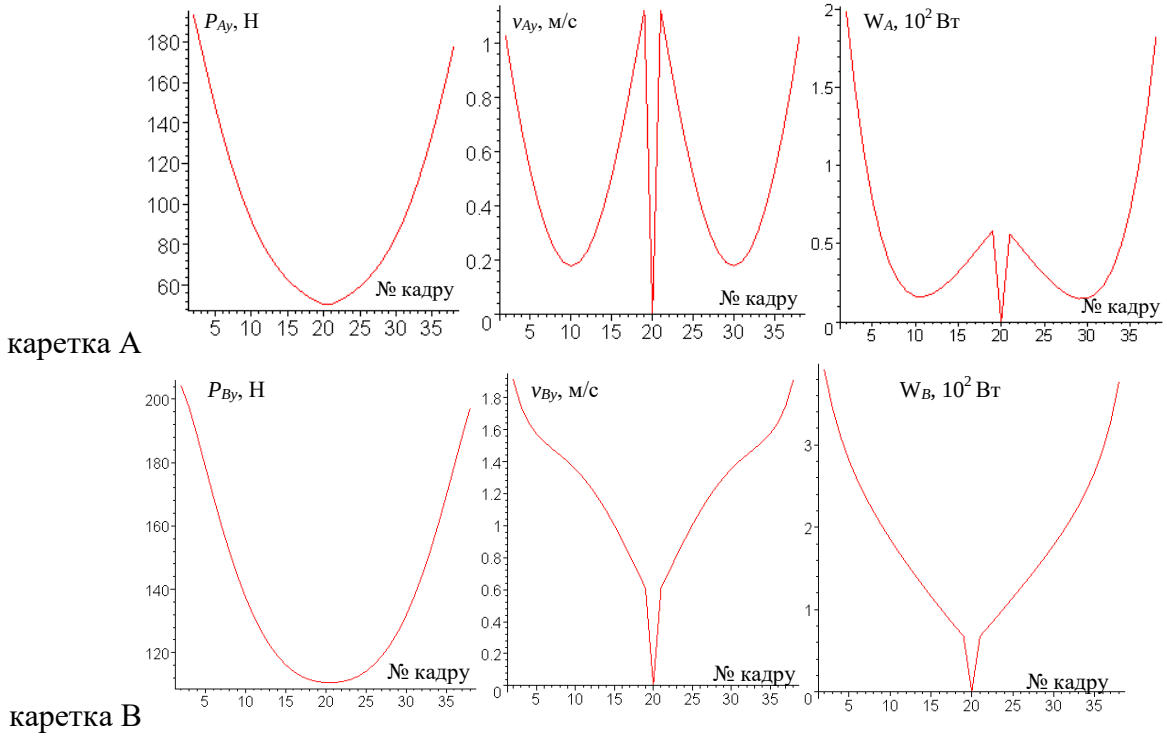


Рис. 3. Зусилля *P*, швидкість кареток *V* і потужність*W* на двигунах упродовж циклічної обробки дільниці синусоїди за рис.2

Список використаних джерел

1. Кузнєцов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнєцов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Рачинський В.В. Передумови використання обладнання каркасних компоновок для обробки складних поверхонь пластичним деформуванням // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції “Механіка машин – основна складова прикладної механіки» Дніпро: НМетАУ, 2017. – С. 67-71
3. Дмитрієв Д.О. Аналіз типових стратегій програмно-керованої обробки тиском поверхонь обертання механізмами паралельної структури Д.О. Дмитрієв, Г.В. Рудакова, С.А. Русанов, В.В. Рачинський // Матеріали XVIII-МНТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 29 червня – 1 липня 2017 р, м. Київ. - С. 310 - 312
4. Дмитрієв Д.О. Розробка технічних засобів проектування технологічного і верстатного обладнання каркасних просторових компоновок / Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, А.А. Омельчук, Д.Д. Федорчук //Mechanics and Advanced Technologies Вісник НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Серія машинобудування. Вип.3 (81). – К: НТУУ «КПІ», 2017. - С.

УДК 621.771.062:669.715

О.В. Ноговіцин[1], А.С. Нурадинов[1], О.Л. Гончаров[1], В.С. Воропаев[2], І.Р. Баранов[1]
1 – Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України,
2 – Інститут матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України,
м. Київ

ВПЛИВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИТОЇ СТРИЧКІ ЗІ СПЛАВУ Д16

В останні році в металургії розвивається метод виготовлення листового прокату, який полягає в суміщенні операцій литва та прокатування. Встановлено, що внаслідок високошвидкісної кристалізації існують широкі можливості впливу на структуру та властивості металу, що створює умови для отримання матеріалу з дрібнозернистою структурою і підвищеними механічними характеристиками. Вперше в світової практиці во ФТІМС вдалося отримати методом валкового лиття стрічку алюмінієвого сплаву Д16 (рис.1), який має широкий температурний інтервал твердіння (>130°С).

а

б

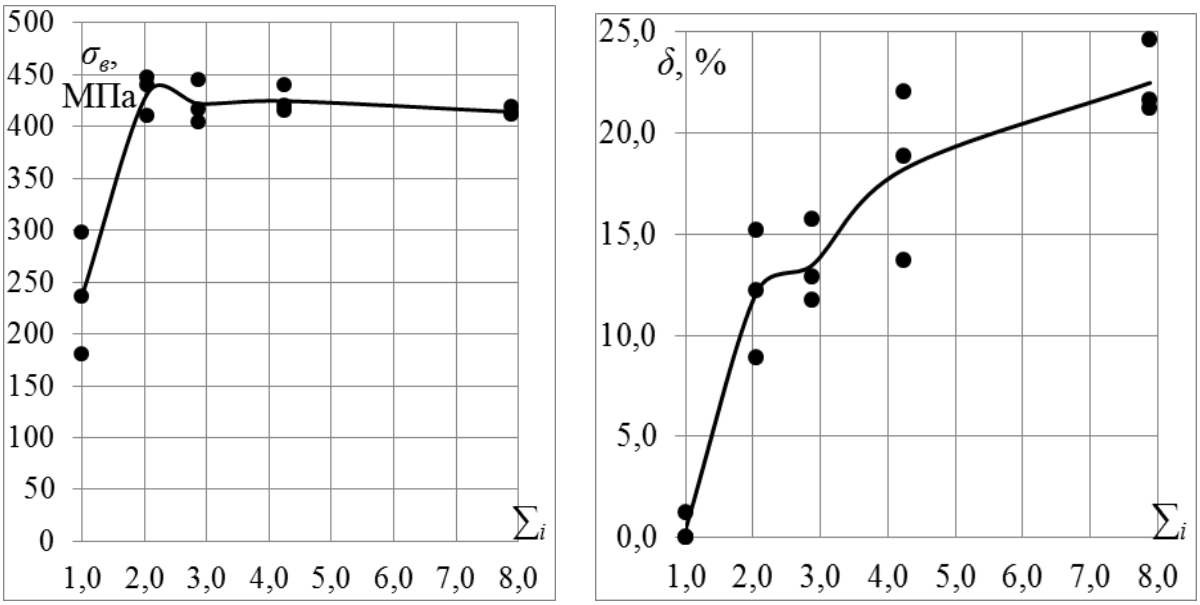
Рис. 1. Лиття полоси на валкової установці (а) і зовнішній вигляд зразків (б) зі сплаву Д16 після лиття і горячої прокатки

Структура α-твердого розчину алюмінію в листі, отриманому на валкової установці, складається з первинних кристалів різної дисперсності. У структурі спостерігаються кристали розміром 180-250 мкм з середньою величиною дендритних осередку ~ 50 мкм. Великий обсяг в структурі сплаву займають кристали розміром 25-50 мкм з дендритними осередками, середній розмір яких не перевищує 8 мкм. Також в досить однорідною структурою сплаву присутні дисперсні інтерметаллідні і евтектичні фази, які розташовані між гілками первинних кристалів.

Отриманий на валковой розливної машині лист товщиною 2 мм прокатали в гарячому і холодному стані. Гарячу деформацію листа здійснювали за декількох пропусків при температурі 420°С зі ступенем сумарного обтиску до 90%. Після гарячої прокатки підвищується якість поверхні листа при постійній його товщині у всіх перетинах. Зміни зовнішнього вигляду зразків після гарячої прокатки литого листа наведені на рис.1,б.

Було проведено прокатування литих стрічок розмірами 40÷50х100÷200 мм із сплаву Д16. При прокатуванні стрічки від ней відбирали зразки з різним ступенем обтиску. Відібрані зразки були термічно оброблені методом гартування з природним старінням. Потім були визначенні їх механічні властивості шляхом механічних випробуванням їх на розтяг.

На рис.2 наведено дані залежності границі міцності σ_B і відносного видовження δ від ступеню обтиснення $\sum_i = \frac{h_0}{h_i}$, де h_0 –товщина литої стрічки, h_i – товщина стрічки після і-го обтиску.



а б

Рис. 2. Експериментальні дані залежності границі міцності σ_B (а) і і відносного видовження δ стрічки сплаву Д16 від ступеню обтиснення $\sum_i$ при гарячої прокатці

З наведених даних слідує, що літа стрічка ($\sum = 1$) має низку міцність і пластичність. Після гарячої деформації 50% ($\sum = 2$) границя міцності σ_B досягає максимального значення. При цьому відносне подовження δ також суттєво збільшилось і продовжує зростати зі збільшенням деформації.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Гаряча прокатка стрічок зі сплаву Д16, отриманих методом валкового лиття, суттєво збільшує їх механічні властивості.
2. Границя міцності стрічки набуває максимуму при гарячої деформації 50%.
3. Пластичність стрічки має тенденцію к зростанню при подальшому збільшенню ступеню обтиску.

УДК 621.762

Г.А. Баглюк, С.Ф. Кирилюк
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ, м. Київ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ШТАМПУВАННЯ ПОРИСТОЇ ЗАГОТІВКИ В НАПІВВІДКРИТОМУ ШТАМПІ З РУХОМОЮ МАТРИЦЕЮ

З кожним роком вартість інструментальних матеріалів зростає. Тому є актуальним проведення попереднього комп'ютерного моделювання технологічних переходів, для зменшення кількості технологічних операцій та відповідно зменшення кількості необхідного технологічного оснащення. Також є актуальними методи отримання деталей з порошкових матеріалів із застосуванням схем штампування які дають змогу отримувати заготовки з мінімальною залишковою поруватістю, з мінімальною неоднорідністю структури в об`ємі та форма яких максимально наближена до форми деталі [1-5]. Тому під час проектування технологічного оснащення, та при розробці технологічного процесу є актуальним проведення комп'ютерного моделювання процесу деформування, для встановлення розподілу деформацій, залишкової поруватості та питомих зусиль на деформуючому інструменті. Це дає змогу без витрат на експериментальні дослідження спроектувати технологічний процес з мінімальною кількістю переходів, та мінімальною неоднорідністю структурі по об'єму.

В даній роботі представлені результати моделювання в середовищі Deform 2D/3D, метою яких було встановити силові параметри процесу гарячого штампування, розподіл деформацій по об'єму, та залишкову поруватість готового напівфабрикату.

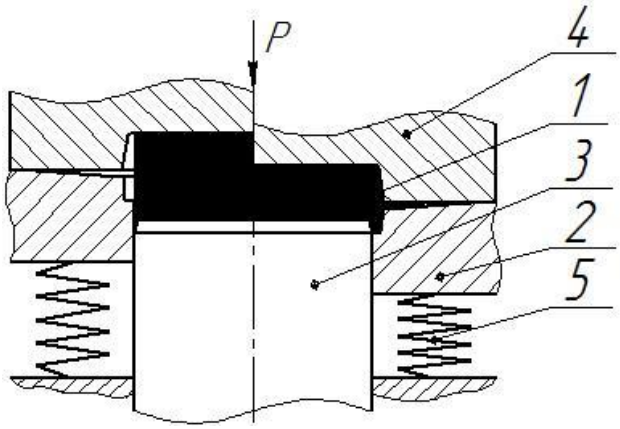


Рис. 1. Розрахункова схема процесу:
1 – заготовка/схема; 2 – нижня матриця; 3 – пуансон; 4 – верхня матриця; 5 – пружні елементи.

На рис. 1 приведена розрахункова схема процесу гарячого штампування. В якості реологічної моделі середовища що деформується була прийнята модель жорстко-пластичного поруватого тіла [6, 7] в гарячому стані, умова пластичності якого має вигляд:

$$f(\sigma_{i,j}) = \sigma_i + 6.2(1-\rho)^{1.028} p^2 = \rho^5 \sigma_s^2$$

де ρ – відносна густина поруватого тіла; σ_i –інтенсивність напружень та p – гідростатичний тиск напружень, які визначаються як:

$$p = \sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_z - \sigma_\varphi)^2 + (\sigma_r - \sigma_\varphi)^2 + 6\tau_{rz}^2\right]$$

Вирішення відповідних граничних задач виконувалось методом скінченних елементів [7, 8]. В якості вихідної заготовки використовувався циліндр ø39 мм та висотою 14,3 мм з

вихідною поруватістю 20%. Матеріал що деформується – Al – 2024 (Д16Т) нагрітий до температури Т=450˚ С. Коефіцієнт тертя між заготовкою та інструментом був прийнятий 0,4.

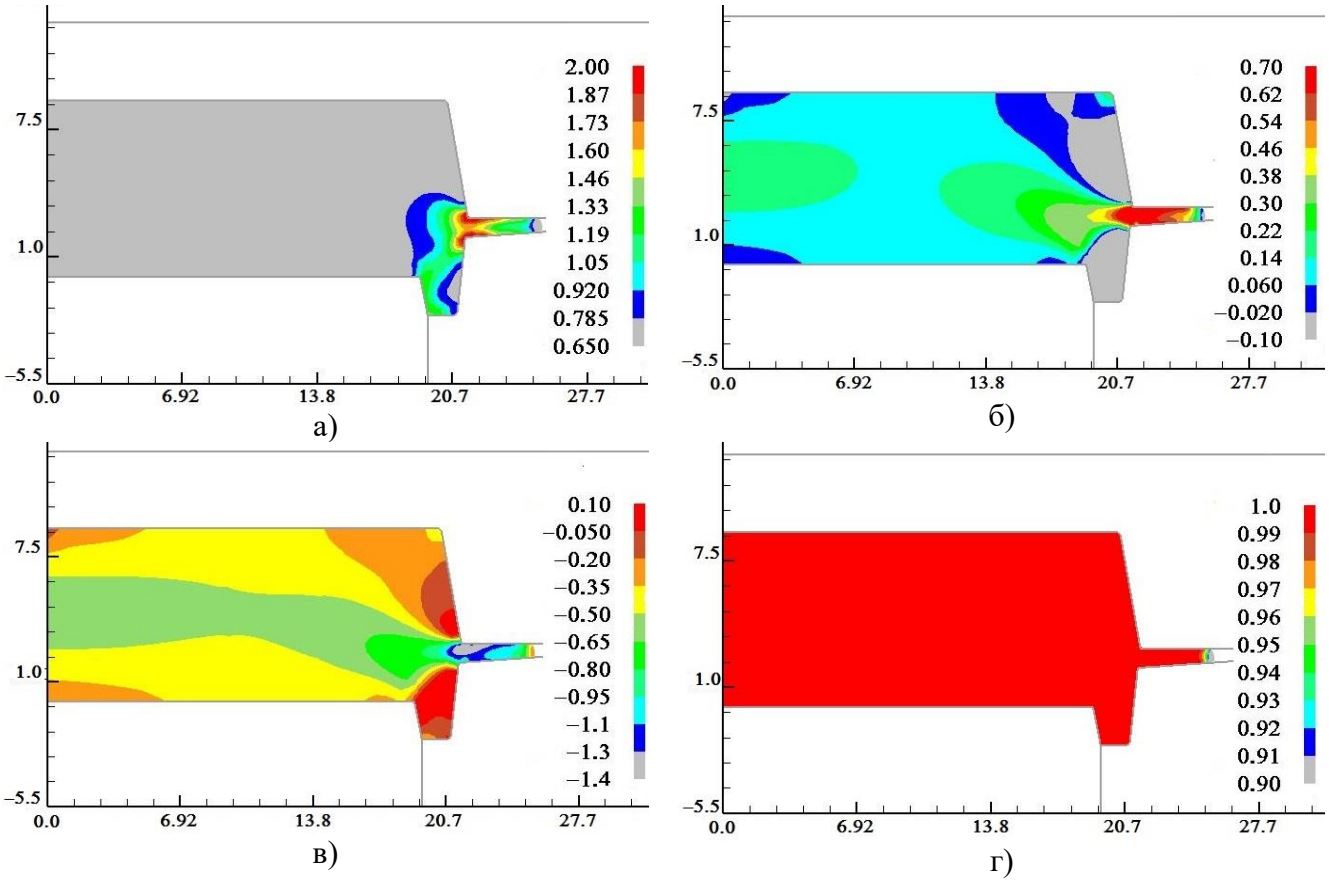


Рис. 2. Розподіл: а) інтенсивності деформацій ε_i; б) радіальних деформацій ε_ρ; в) осьових деформацій ε_z; г) розподілу залишкової поруватості Θ; по об'єму.

На рис. 2 приведені результати моделювань. Аналізуючи епюру розподілу інтенсивності деформацій ε_i (рис. 2а) бачимо, що інтенсивність деформацій по об'єму майже однакова та коливається в межах ε_i=0,65÷0,785, а в зоні біля облойної канавки та компенсаційного кільця спостерігається підвищення інтенсивності деформацій, що викликані інтенсивною течією матеріалу в осьовому напрямку на останніх стадіях деформування (рис. 2в). Також з епюри розподілу інтенсивності деформацій ε_i бачимо що в кутових ділянках верхньої частини поковки відсутні застійні зони, що в свою чергу знижує неоднорідність структури в напівфабрикаті.

Аналізуючи епюру розподілу радіальних деформацій ε_ρ (рис. 2б) бачимо, що майже по всьому об'єму вони мають розтягувальний характер та досягають величини $\varepsilon_\rho = 0{,}3$. В зонах матеріалу що граничать з верхньою та нижньою матрицею, спостерігаємо зону стискаючих радіальних деформацій, величина яких досягає $\varepsilon_\rho = -0{,}1$. З епюри розподілу осьових деформацій ε_z (рис. 2в) бачимо, що відносно середини перерізу розподіл деформацій майже симетричний та майже по всьому об'єму носить стискаючий характер, при цьому величина деформацій коливається в межах $\varepsilon_z = -0{,}2 \div -0{,}8$. Також бачимо, що в зоні біля компенсуючого кільця спостерігається осьова деформація розтягувального характеру, величина якої досягає $\varepsilon_z = 0{,}1$. З епюри розподілу залишкової поруватості Θ (рис. 2г) бачимо, що в готовій поковці величина залишкової поруватості не перевищує 1% по об'єму.

В результаті моделювання була встановлена залежність зусилля деформування від переміщення робочого інструменту, як бачимо з рис. 3 на початковому етапі деформування спостерігається поступове зростання зусилля деформування, це пояснюється тим, що на початковому етапі відбувається вільне осаджування вихідної заготівки). Після відмітки в 4 мм, спостерігається різке зростання зусилля деформування, це пояснюється тим що в даному місці починається заповнення всієї робочої порожнини, максимальне зусилля в кінці процесу досягає P=1164 кН.

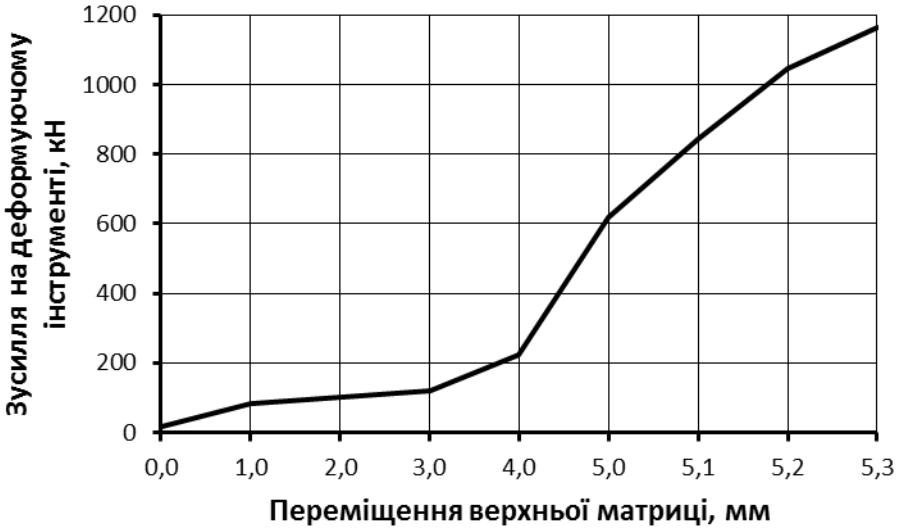


Рис. 3. Залежність зусилля деформування від переміщення інструменту.

ВИСНОВКИ:

За результатами моделювання встановлено:

1. інтенсивність деформацій по об'єму ε_i коливається в межах ε_i=0,65÷0,785, а в зоні біля облойної канавки та компенсаційного кільця спостерігається підвищення інтенсивності деформацій, в кутових ділянках верхньої частини поковки відсутні застійні зони - це забезпечує однорідність розподілу структури в поковці по об'єму;
2. залишкова поруватість Θ по об'єму поковки не перевищує 1%;
3. максимальне зусилля на деформуючому інструменті в кінці робочого ходу і становить P=1164 кН.

Список використаних джерел:

1. Живов Л. И. Опыт штамповки изделий из порошка титана / Л. И. Живов, А. В. Сыпко, Н. И. Долгий. // Кузнечно-штамповочное производство.. – 1975. – №3. – С. 47.
2. Baglyuk G. Densification and Shape Change of Porous Billets in Closed and Open Dies // Recent Developments in Computer Modeling of Powder Metallurgy Processes. –IOS Press. NATO Science Series, 2001. – P.163-168.
3. Баглюк Г.А. Моделирование процесса деформации пористой заготовки в открытом штампе // Порошковая металлургия. – 1997. – № 9/10. – С.5-7.
4. Эдуардов М. С. Штамповка в закрытых штампах / М. С. Эдуардов. – Ленинград: Машиностроение, 1971. – 240 с
5. Павлов В.А. Исследование процессов горячей деформации пористых заготовок из порошков титана, меди, алюминия и их оптимизация / Павлов В.А, Носенко М.И. // Порошковая металлургия. – 1993. – №9/10. – С.23-28.
6. Shima, S. M. Plasticity Theory for Porous Metals / Shima, S., Oyane // International Journal of Mechanical Sciences. – 1976. – Vol. 18. – P. 285-291.
7. Kobayashi Sh. Metal forming and the finite-element method. / Kobayashi Sh., Shima, S., Oyane // – New York, Oxford: Oxford University Press, 1989. – 377 p.
8. Khoei A.R. Computational Plasticity in Powder Forming Processes. – Elsevier Science, 2005. – 449 p.– 1974. –Vol.10, No.1. –P.59-66.

УДК 621.7.011

В. А. Огороднiков, Т. Ф. Архіпова
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

АПРОКСИМАЦІЯ ДІАГРАМ ПЛАСТИЧНОСТІ

Під діаграмою пластичності розуміють механічну характеристику матеріалів, як функцію параметрів схеми напруженого стану. Уявлення про пластичність ε_p як міру деформації (накопиченою інтенсивністю деформацій на момент руйнування) дозволяє розглядати її як функцію деяких параметрів напруженого стану η, що прийнято називати діаграмою пластичності [1]:

$$\varepsilon_p = f(\eta, \eta_2, Q).$$

При цьому параметр напруженого стану η є відношення першого інваріанта тензора напружень до другого інваріанта девіатора напружень:

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2}(D_\sigma)} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i},$$

де σ_1, σ_2, σ_3 – головні напруження, σ_i – інтенсивність напружень. При одноосному розтягу показник $\eta=1$, стиску $\eta=-1$, зсуві $\eta=0$, двоосному розтягу $\eta=2$.

Показник η_2 введено в роботі [2]. Він враховує вплив третього інварианта тензора напружень на пластичність:

$$\eta_2 = \frac{\sqrt[3]{I_3(T_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}}{\sigma_i}.$$

Показник Q використаний для опису руйнування зрізом:

$$Q = \frac{1 - k\eta}{\omega}, \tag{1}$$

показники η, η_2 – використані для опису руйнування відривом.

В співвідношенні (1) коефіцієнт k враховує параметри матеріалу, ω – відношення максимального дотичного напруження до інтенсивності напружень:

$$\omega = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_i}.$$

Таким чином, діаграму пластичності будемо розділяти на два види: $\varepsilon_p = f(\eta, \eta_2)$ руйнування відривом, $\varepsilon_p = f(Q)$ – руйнування зрізом.

За методикою, запропонованою в роботі [2], діаграму будують за результатами випробувань на одновісний розтяг, показник $\eta=1$, $\varepsilon_{p(\eta=1)} = \ln d_0/d_i$ або, $\varepsilon_{p(\eta=1)} = \ln F_0/F_i$, одновісний стиск, показник $\eta = -1$, $\varepsilon_{p(\eta=-1)} = \ln F_i/F_0$, зсув (кручення), $\eta = 0$, $\varepsilon_p(\eta = 0) = tg\gamma/\sqrt{3}$. В наведених формулах – d_0, d_i, F_0, F_i – діаметри та площа зразків до і в процесі деформування, γ – кут зсуву, утворений поворотом риски, яку заздалегідь нанесено на зразку до випробування на кручення.

Серед чисельних апроксимацій діаграм пластичності [2, 3, 4] слід зупинитися на тих, для яких коефіцієнти апроксимації мають фізичний зміст. Так в роботах [2, 3] наведена апроксимація виду:

$$\varepsilon_p(\eta) = \varepsilon_{p(\eta=0)} \exp(-\lambda_i \eta), \tag{2}$$

де коефіцієнт $\lambda_i = \ln \dfrac{\varepsilon_p(\eta = 0)}{\varepsilon_p(\eta = 1)}$.

Тому його застосування в рівнянні (2) обмежено межами зміни показника, а саме $1 \geq \eta_1 \geq 0$. Для інтервалу зміни показника $0 \geq \eta_1 \geq -1$ розраховують коефіцієнт λ_2:

$$\lambda_2 = \ln \frac{\varepsilon_p(\eta = -1)}{\varepsilon_p(\eta = 0)}.$$

На рис. 1 показана діаграма пластичності сплаву на основі алюмінію, яка апроксимована за рівнянням (2), де λ_1=0,85 λ_2=1,31.

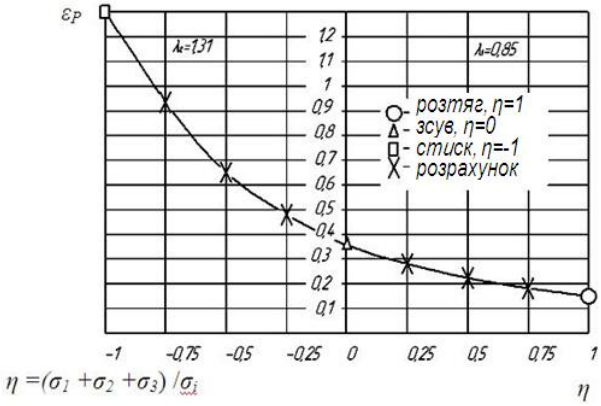


Рис. 1. Діаграма пластичності алюмінієвого сплаву

В напівлогарифмічних координатах λ_i– тангенси кутів нахилу прямих побудованих в координатах $\varepsilon_p(\eta)$. Коефіцієнти λ_i є коефіцієнти чутливості пластичності до змін схем напруженого стану. Чим більші ці коефіцієнти за величиною тим більш інтенсивно відбувається зростання пластичності зі збільшенням гідростатичного тиску. Подібне уявлення зустрічається в монографії В. А. Скуднова [4], в якій с точки зору фізики металів показано доцільність введення коефіцієнтів "чутливості" пластичності до зміни показника η. В даній роботі перегини на діаграмі пластичності, побудованої в напівлогарифмічних координатах пов'язано з показниками релаксаційної здатності (пластичності) полікристалів m:

$$m = \frac{\ln \sigma_2 / \sigma_1}{\dot{\varepsilon}_2 - \varepsilon_1}.$$

Показник релаксаційної здатності (пластичності) полікристалів $m = \dfrac{d \ln \sigma}{d \ln \dot{\varepsilon}}$ – (показник чутливості напруження текучості (σ_u або τ_u) до швидкості деформації зміни часу), а величини механічних характеристик матеріалу *δ, ψ* виступають наслідками величини m. Як правило, в області (*η=1)* має місце «аномальне» підвищення граничної деформації. Для деяких випадків її величина перевищує деформацію при зсуві (*η=0),* що протирічить фізичним уявленням про механізми руйнування. Введення показника *Q* в формулу 2 дозволяє розширити наші уявлення про механізми руйнування. Ймовірно в такому випадку спостерігається змішаний механізм руйнування (відривом в центрі меридіонального перерізу «шийки» та руйнування зрізанням на периферії (спостерігається «кратер»).

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки: побудовано діаграми пластичності за результатами різних схем випробувань та запропоновано їх апроксимації, що мають фізичний зміст. Показано спосіб побудови діаграм пластичності для умов об'ємного напруженого стану без залучення експериментів в камерах високого тиску.

Список використаних джерел

1. Смирнов - Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов / Г. А. Смирнов-Аляев. – Ленинград. : Машиностроение. (Ленинград. отд-ние), 1968. – 271 с.
2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. / В. А. Огородников. – К. : Вища школа, 1983. – 175 с.
3. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
4. Скуднов В. А. Предельные пластические деформации металлов. – М. : Металлургия, 1989. – 176 с.

УДК 621.762

А.В. Кузьмов[1,2], М.Б. Штерн[1,2]
1 - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: kavipms@bigmir.net
2 - Інститут проблем матеріалознавства НАНУ, м. Київ, e-mail: mbsh07@ukr.net

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНСОЛІДАЦІЇ ТРУБЧАТИХ ПОРОШКОВИХ ЗАГОТОВОК ШЛЯХОМ «СКРУЧУВАННЯ ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ»

Незважаючи на велику кількість результатів в області холодного пресування порошків, проблема зниження енерго- і силових витрат при пресуванні залишається актуальною навіть для простих схем ущільнень. Зокрема, певні надії в рішенні зазначеної проблеми пов'язуються з використанням елементів зсувних деформацій [1, 2]. В якості однієї з реалізацій такого підходу є обертання матриць або пуансонів. Подібні ідеї останнім часом набули поширення при обробці тиском не тільки порошкових, а й компактних матеріалів. При цьому, поряд з традиційними технологіями штампування, існують методи обробки, основною метою яких є накопичення деформацій в заготовках, а не зміна їх форми. До таких методів належать гвинтова екструзія [3], рівноканальна кутова екструзія [4,5], крутіння під тиском [4, 6] та інші. В результаті використання таких технологічних процесів можна отримати ультрадрібнозернисту структуру оброблюваного матеріалу, який набуває при цьому якісно нові властивості.

Останнім часом ведуться активні дослідження з використання цих технологій для обробки порошкових заготовок [7,8,9]. Наявність зсувних деформацій призводить до сприятливого орієнтації металевих зерен, неметалевих включень і пор, появі текстури. Важливим завданням при цьому є можливість знизити енергосилові параметри процесу і, в результаті, підвищити стійкість деформуючого інструменту.

Слід зазначити, що теорія пластичності стисливих матеріалів прогнозує зменшення тиску пресування при миттєвій появі зсувних деформацій [1]. Проте в ході довготривалого технологічного процесу наявність додаткових зсувних деформацій викликає збільшення накопиченої деформації та деформаційного зміцнення, що призводить до протилежного ефекту збільшення тиску пресування. Тому питання про доцільність застосування нестандартних схем пресування порошків зі зсувними деформаціями, окрім аналізу доцільності ускладнення технологічного обладнання, вимагає також дослідження впливу деформаційного зміцнення. Таке дослідження проводилось одним із авторів в роботі [2] в якій схема з обертанням пуансона при пресуванні в закритій прес-формі досліджувалась шляхом обчислювального моделювання методом скінчених елементів для деяких частинних випадків, - без рекомендацій як в загальному випадку оцінювати подібні схеми пресування. Тому виникла зацікавленість до аналітичних розв’язків для спрощених схем пресування з додатковими зсувними деформаціями , подібно до того як це зроблено для стандартних схем пресування без врахування тертя в [10]. Це дало б змогу принаймні на якісному рівні оцінювати подібні схеми пресування зі зсувними деформаціями. Виявляється такою простою для аналізу схемою може стати радіальне пресування трубчатих заготовок суміщене з обертанням внутрішньої та зоовнішньої стінок з різною кутовою швидкістю. Така схема застосовується для отриманні великих пластичних деформацій в компактних металах, та отримала назву «скручування під високим тиском» (high-pressure tube twisting) [11]. В якості визначальних співвідношень береться пружно-пластична модель на основі асоційованого закону пластичної течії $e_{ij} = \lambda \dfrac{\partial F}{\sigma_{ij}}$; $\lambda > 0$ для поверхні текучості F у вигляді [10]

$$F = \frac{p^2}{\psi} + \frac{\tau^2}{\phi} - (1-\theta)\tau_0^{\,2} \;;\quad \psi = \frac{2(1-\theta)^3}{3\theta}\;,\quad \varphi = (1-\theta)^2 \qquad (1)$$

де p, τ - перший та другий інваріанти тензора напружень відповідно, θ - пористість, тобто об'ємна концентрація порожнин в матеріалі. Деформаційне зміцнення виражається через інваріанти швидкостей деформацій $e,\ \gamma$

$$\tau_0 = a + b\omega^{\alpha} \qquad \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{\sqrt{1-\theta}}\sqrt{\psi\ e^2\ + \phi\gamma^2} \tag{2}$$

де $a,\ b,\ \alpha$ деякі константи зміцнення матеріалу.

Ненульовими складовими тензора швидкостей деформацій будуть тільки e_{rr} та $e_{r\varphi}$. Робочий тиск пресування в цьому випадку матиме вигляд

$$P = -\sigma_{rr} = \tau_0\sqrt{\frac{3}{2}}\frac{(1-\theta)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\theta}}\frac{\sqrt{4-3\theta}}{\sqrt{1+\dfrac{3\theta}{4-3\theta}K^2}}; \quad K = \left|\frac{e_{r\phi}}{e_{rr}}\right| \tag{3}$$

Для накопиченої деформації у випадку стиснення отримуємо рівняння

$$\frac{d\omega}{d\theta} = -\frac{\sqrt{\dfrac{4-3\theta}{3\theta} + K^2}}{\sqrt{2(1-\theta)}} \tag{4}$$

Розв'язок цього рівняння з початковою умовою $\omega(\theta_0) = 0$ може бути виражений через «еліптичні інтеграли» виду $E\{M,N\} = \int\limits_0^M \sqrt{1-N^2\sin^2 Y}\,dY$ наступним чином:

$$\omega(\theta) = F(\theta) - F(\theta_0); \quad F(\theta) = \begin{cases} \sqrt{2(K^2-1)}\left[\sqrt{(1-\theta)}g_1 - \dfrac{1}{a}E\left\{\arcsin\left(\dfrac{g_1}{a}\right), a\right\}\right]; & K > 1 \\ -2\sqrt{\dfrac{2}{3}}\arcsin\sqrt{\theta}; & K = 1 \\ \sqrt{2(1-K^2)}\left[\dfrac{1}{b}E\left\{\arcsin\left(\dfrac{g_2}{b}\right), b\right\} - \sqrt{\theta}g_2\right] - \sqrt{\dfrac{2}{3}}\pi\ ; & K < 1 \end{cases} \tag{5}$$

$$g_1 = \sqrt{\frac{3(K^2-1)\theta}{4+3\theta(K^2-1)}}; \quad g_2 = \sqrt{\frac{3(1-K^2)(1-\theta)}{4-3\theta(1-K^2)}}; \quad a = \sqrt{\frac{3(K^2-1)}{3K^2+1}}; \quad b = \frac{\sqrt{3(1-K^2)}}{2};$$

Отриманий таким чином аналітичний вираз для накопиченої деформації після підставлення в (2) та (3) дає змогу знайти робочий тиск пресування теж в замкненому аналітичному вигляді $P = -\sigma_{rr}\left(\theta_0, \theta, K, a, b, \alpha\right)$. Де θ_0 та θ - початкова та поточна пористість відповідно. Це було використано для аналізу доцільності обертання пуансонів з точки зору зменшення робочого тиску. Нехай маємо порошкову заготовку з деякого матеріалу з початковою пористістю θ_0 , тоді σ_{rr} залежить лише від двох параметрів θ та K. Тому знайдемо такі значення $\left(\theta, K\right)$ за яких спостерігається зменшення тиску пресування порівняно зі схемою без зсувних деформацій. Для випадку матеріалу з параметрами зміцнення $b = 5a,\ \ \alpha = 0.9$ та початковою пористістю 0.5 область таких значень $\left(\theta, K\right)$, тобто область доцільності запропонованої схеми, показана на рис 1 (ця область замальована сірим кольором).

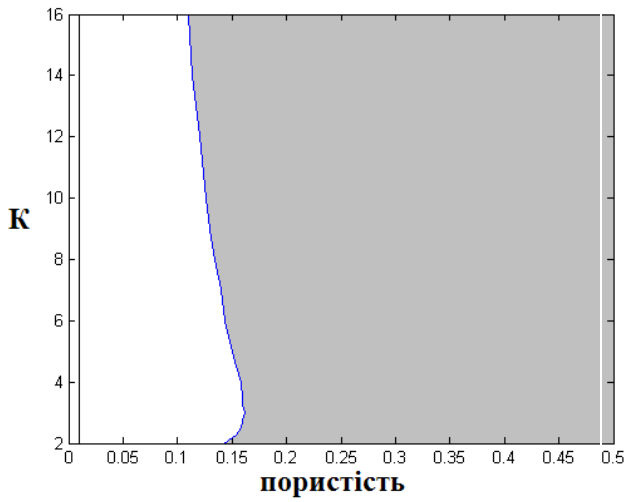


Рис.1. Область доцільності параметрів θ, K

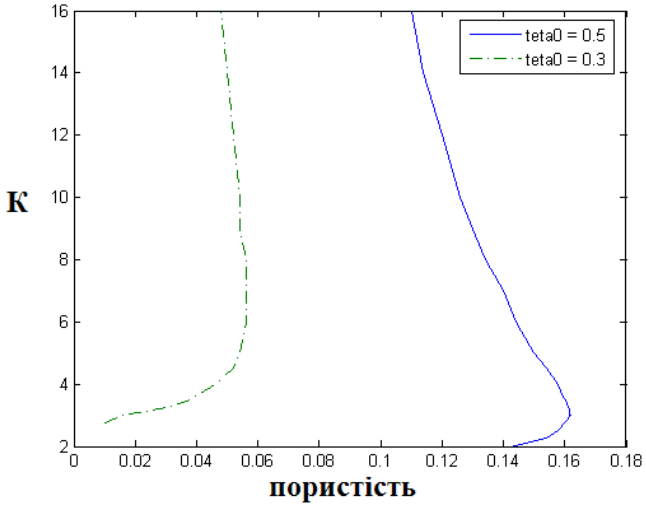


Рис.2. Криві доцільності для різних значень θ_0

Слід зазначити, що як видно з (3) при значних ступенях ущільнення ($\theta \to 0$) вплив K на робочий тиск значно послаблюється, тому як видно з рис 1 для кожної величини K існує таке граничне значення пористості, що для подальшого ущільнення зсувати бічні стінки одну відносно одної в подальшому недоцільно. Проте такі граничні значення пористості, які назвемо в подальшому кривою доцільності, суттєво залежать не тільки від K але і від початкової густини заготовки, що добре видно з рис 2. де наведені криві доцільності для різних значень початкової пористості для того ж самого матеріалу $b = 5a, \quad \alpha = 0.9$

Таким чином знайдений в аналітичному вигляді розв'язок для задачі про радіальне пресування трубчатих заготовок суміщене з обертанням одна відносно одної внутрішньої та зовнішньої стінок. Цей розв'язок зокрема дає відповідь в залежності від параметрів зміцнення матеріалу та початкової густини заготовки до якої межі ущільнення доцільно обертати одна відносно одної бічні стінки. А також дозволяє мати якісне уявлення про процеси пресування порошків суміщені зі зсувними деформаціями і для більш складних схем з неоднорідним напружено-деформованим станом.

Список використаних джерел:

1. Штерн М. Б. Развитие теории прессования ипластического деформирования порошковых материалов // Порошковая металлургия. — 1992. — № 9 . — С. 12 - 24.
2. Михайлов О. В., Штерн М. Б. Вплив крутіння пористих заготовок на їх ущільнення в закритому штампі // Математичні моделі і обчислювальний експеримент в матеріалознавстві - Київ: ІПМ ім.І.М.Францевича НАН України, 2013 , #15 , С.81-85
3. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Орлов Д.В., Сынков С.Г. Винтовая экструзия - процесс накопления деформации. — Донецк : ТЕАН, 2003. — 85 с.
4. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. — М. : Логос, 2000. — 271 с.
5. Сегал В. М., Резников В. И., Копылов В. И., Павлик Д. А., Малышев В. Ф. Процессы пластического структурообразования металлов. — Минск : Навука и тэхника, 1994. — 232 с.
6. Бриджмен П. В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. — М. : Изд-во иностранной литературы, 1955. — 444 с.
7. Varyukhin V. N., Beygelsimer Y. Y., Synkov S. G. etc. Consolidation of amorphous Al86Ni6Go2Gd6 melt spun ribbons by twist extrusion // Material Science Forum, 2006. — Vol. 503-504. — P. 699-704.
8. Xiang S., Matsuki K., Tahatsuju N., Tokizawa M., Yokote T., Kusui J., Yokoi K. Microstructure and mechanical properties of PM 2024Al - 3Fe - 5Ni alloy consolidated by a new process, equal channel angular pressing // Mater. Sci. Lett. — 1997. — Vol. 16. — P. 1725-1727.
9. Xia K., Wu X. Back pressure equal channel angular consolidation of pure Al particles // Scripta Materialia. — 2005. — Vol. 53. - P. 1225–1229.
10. Штерн М.Б., Сердюк Г.Г. и др. Феноменологические теории прессования порошков. Київ: Наукова думка, 1982. — 140 с.
11. L. S. To´th, M. Arzaghi, J.J. Fundenberger et al. Severe plastic deformation of metals by high-pressure tube twisting // Scripta Materialia. — 2009. — Vol. 60. — P. 175-177.

УДК 623.451:519.6

Я.Е. Бейгельзимер[1], Р.Ю. Кулагин[2], Ю.З. Эстрин[3, 4], А.А. Давиденко[1]
1 – Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, г. Киев
2 – Institute of Nanotechnology (INT), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany
3 – Monash University, Clayton, Australia
4 – The University of Western Australia, Crawley, Australia

НОВАЯ ЦЕЛЬ ИПД: МАТЕРИАЛЫ С АРХИТЕКТУРОЙ

Главным предназначением методов интенсивной пластической деформации (ИПД), начиная с 90-х годов, являлось получение материалов с субмикрокристаллической (СМК) структурой [1, 2]. В последние годы у ИПД появилась еще одна достойная цель – материалы с архитектурой, которые в англоязычной литературе называют architectured materials (AM).

AM это материалы, свойства которых определяются их составом и строением не только на микроуровнях, но и структурой более крупных масштабов, вплоть до размера всего образца. Идея мультимасштабного конструирования технических материалов принадлежит М.Эшби [3] и восходит к Природе [4]. Она является развитием наноструктурной парадигмы в материаловедении, сформировавшейся в 90-х годах и корнями уходит в концепцию композитов, которые представляют собой частные случаи AM [5].

В работе [6] приведены примеры архитектурных материалов с разными структурами надмикронного масштаба (ячеистыми, стержневыми, складчатыми и т.д.), которые убедительно показывают эффективность парадигмы AM в плане достижения нового уровня физико-механических и функциональных характеристик. В литературе описаны различные способы получения архитектурных материалов, основанные на 3D печати, термообработке, диффузии, порошковых технологиях и т.д.

Широкие возможности по созданию слоистых, волокнистых, сетчатых, скаладчатых и т.д. архитектур открывают традиционные методы обработки материалов давлением (прокатка, прессование, штамповка), которые уже давно используются в промышленных масштабах для получения композиционных материалов [5].

ИПД характеризуется рядом особенностей процесса деформации, которые открывают широкие возможности в создании AM [7]. В последние годы указанное обстоятельство инициировало появление целого ряда публикаций по формированию методами ИПД мультимасштабных структур в различных материалах [8]. В докладе предпринята попытка их анализа, целью которого является определение перспективных путей создания AM с привлечением методов ИПД. Рассматриваются следующие классы возможных структур.

1.*Однородные по химическому составу мультимасштабные структуры*

Концепция AM основана на введении внутрь материала конструкций, обеспечивающих ему необходимые свойства. Обычно конструкции изготавливаются либо из других материалов, либо из пустого пространства. В этом разделе будут рассмотрены AM, внутренняя конструкция которых изготавливается путем изменения структуры основного материала в нужных местах. Это как строить в воде города из льда или делать фигуры в стекле методом лазерной гравировки.

Многочисленные примеры изготовления внутренних конструкций из одного вещества дает Природа (древесина, костная ткань и т.д.). Есть, как минимум, два видимых достоинства таких однородных по химическому составу AM: они не требуют использования дополнительных материалов и должны относительно легко подвергаться рециклированию, т.к. не содержат в себе никаких примесей. В этом смысле AM с однородным химическим составом можно считать экологически чистыми материалами.

В работе [7], для снижения чувствительности СМК материала к перегрузкам при растяжении, предложено создавать в нем структуру из специальным образом расположенных тонких КК прослоек (структра типа «искусственный кристалл»). Ее действие основано на том,

что незадолго до достижения критических нагрузок на СМК материал происходит сдвиг по КК прослойкам. Это повышает устойчивость деформации архитектурного СМК материала и увеличивает живучесть (structural vitality) изготовленной из него конструкции.

Листовой архитектурный материал со структурой типа «искусственный кристалл» может быть использован не только для повышения живучести контрукций, но и для изготовления купольных конструкций с СМК микроструктурой. При этом КК прослойки должны обеспечить вытяжку такой конструкции из листа. В докладе приведены два возможных КК паттерна, реализующих эту идею.

Для локального изменения микроструктуры материалов могут быть использованы температурные воздействия, с контролируемым теплоотводом, и неоднородная пластическая деформация. В докладе рассмотрены обе эти возможности.

2. *Спиралевидные структуры*

Поистине выдающиеся физкико-механические характеристики некоторых природных материалов обеспечиваются их спиралевидной архитектурой [9, 10]. Поэтому ее целенаправленное формирование в объеме твердых тел открывает большие перспективы при создании новых материалов. В докладе рассмотрено применение для этих целей процессов ИПД с вихревым характером течения.

3. *Структуры самоорганизации*

В настоящем разделе мы рассмотрим структуры, возникающие в зонах простого сдвига, присущих многим процессам ИПД. Зоны пластического сдвига хорошо изучены в рамках структурной геологии [11, 12]. Несмотря на то, что последняя исследует сдвиг, в основном, в минералах, а не в металлических материалах, происходящие при этом явления во многом схожи между собой. Это подтверждается многолетним успешным опытом применения теории пластичности в геологии и исследованиями механизмов деформации горных пород. По этой причине, структурам самоорганизации при ИПД можно найти соответствие в геологии и наооборот, по множеству известных геологических структур можно представить себе те архитектуры, которые могут быть получены при ИПД.

Очень интересные пространственные структуры могут быть получены в процессах, описываемых системой «реакция-диффузия» [13]. Обычно они реализуются в жидких средах, так как для возникновения самоорганизации необходимо, чтобы характерное время реакции и характерное время массопереноса были величинами одного порядка. Из-за малой скорости диффузии в твердом теле все реакции локализуются на границах разделов фаз или вблизи них, поэтому пространственные структуры не образуются.

Ситуация коренным образом меняется, когда твердое тело испытывает ИПД. В экспериментах показано, что в этом случае происходит аномально-быстрый массоперенос в объеме деформируемого материала. Эффективный коэффициент диффузии при этом возрастает на много порядков, в результате чего могут выполниться условия, необходимые для самоорганизации пространственных структур. Многочисленные примеры тому дают метаморфные образования земной коры. В работе [14] рассмотрен вопрос образования структур по типу «реакция – диффузия» при ИПД и их применения при создании архитектурных материалов.

4. *Сочетание ИПД с 3Д-печатью для создания АМ*

Выше рассматривались возможности получения архитектурных материалов, структура верхнего масштабного уровня которых формировалась либо после ИПД, либо в результате ИПД. Здесь рассмотрим возможность применения ИПД для формирования микроструктуры архитектурного материала с уже сформированной структурой верхнего масштаба. В работе [7] предложено создавать методами 3Д-печати образцы материалов с произвольной внутренней конструкцией, а затем обрабатывать их методами ИПД с целью улучшения микроструктуры. В докладе проанализирована возможность обработки конструкций, окруженных «жертвенным материалом», который после обработки удаляется (таким материалом может быть алюминиевый сплав, который легко растворяется в растворе щелочи NaOH).

В качестве примера рассмотрена обработка методом винтовой экструзии конструкции, представленной на рис.1.

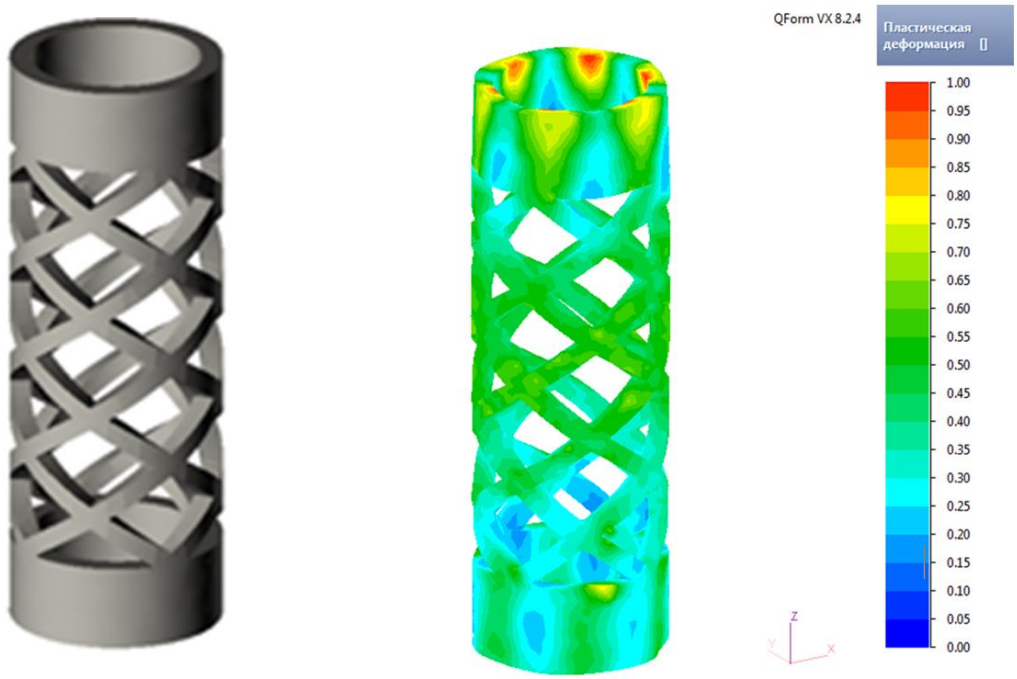


Рис. 1. Обработка 3D конструкции методом винтовой экструзии: а – конструкция, б – распределение деформации Мизеса в объеме конструкции после одного прохода ВЭ

Рисунок показывает слабое искажение формы конструкции, при средней эквивалентной деформации в ее объеме около 0,5. Это достаточная деформация для довольно существенного преобразования микроструктуры материала.

По результатам исследования можно сделать вывод о перспективности ИПД для получения материалов с внутренней архитектурой.

Список использованной литературы

1. R.Z.Valiev, Y.Estrin, Z.Horita, T.G.Langdon, M.J. Zehetbauer, Y. T. Zhu, Producing Bulk Ultrafine-Grained Materials by Severe Plastic Deformation: Ten Years Later. JOM, 68, 4 (2016) 1216-1226
2. Y. Estrin, A. Vinogradov, Extreme grain refinement by severe plastic deformation: A wealth of challenging science. Acta Materialia 61 (2013) 782–817
3. Ashby M.F. Designing architectured materials, Scripta Materialia, Volume 68, Issue 1, January 2013, Pages 4-7
4. John W.C. Dunlop and Peter Fratzl, Multilevel architectures in natural materials, Scripta Materialia 68 (2013) 8–12
5. Ashby M.F. Materials selection in mechanical design, 4 - th Edition, Published by Elsevier Ltd., 2011. - 665 p.
6. Architectured Materials in Nature and Engineering, Editors: Estrin, Y., Bréchet, Y., Dunlop, J., Fratzl, P. (Eds.), Springer Series in Materials Science. Springer, 2019
7. Beygelzimer, Y. Estrin, R. Kulagin, Synthesis of Hybrid Materials by Severe Plastic Deformation: A New Paradigm of SPD Processing, Adv. Eng. Mater. Volume 17, Issue 12, pages 1853–1861, December 2015
8. Y. Beygelzimer, R. Kulagin, Y. Estrin, Severe Plastic Deformation as a Way to Produce Architectured Materials. In the book: Architectured Materials in Nature and Engineering, Editors: Estrin, Y., Bréchet, Y., Dunlop, J., Fratzl, P. (Eds.), Springer Series in Materials Science. Springer, 2019, Pages 231-255
9. Marc Andre´ Meyers, Po-Yu Chen, Albert Yu-Min Lin, Yasuaki Seki, Biological materials: Structure and mechanical properties. Progress in Materials Science 53 (2008) 1–206
10. Bodo D.Wilts, Heather M.Whitney, Beverley J.Glover, Ullrich Steiner, Silvia Vignolini, Natural Helicoidal Structures: Morphology, Self-assembly and Optical Properties. Materials Today: Proceedings Volume 1, Supplement, 2014, Pages 177-185
11. Bruce Hobbs, Alison Ord, Structural geology. The Mechanics of Deforming Metamorphic Rocks Volume I: Principles. Elsevier, 2015. 665p.
12. Soumyajit Mukherjee, Atlas of Structural Geology. Elsevier, 2015. 165p.; Haakon Fossen, Structural Geology. Cambridge university press, 2010. 463p.
13. Г. Николис, И. Пригожин, Самоорганизация в неравновесных системах. М: Мир, 1979.- 512 с.
14. R. Kulagin, Y. Beygelzimer, A. Bachmaier, R. Pippan, Y. Estrin, Benefits of pattern formation by severe plastic deformation. Applied Materials Today 15 (2019) 236–241.

УДК.621.735.3

І.С. Алієв, Я.Г. Жбанков, Л.В. Таган
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КУВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬОВАНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ

Номенклатура сучасних машинобудівних підприємств досить різноманітна і включає в себе велику кількість складнопрофільованих виробів типу дисків і кілець з уступами, гільз, циліндрів і т.д. Для забезпечення високих експлуатаційних характеристик ці вироби виготовляються з дорогих легованих марок сталей. Одним з ефективних шляхів зниження собівартості таких виробів є зниження їх металоємності і скорочення кількості технологічних переходів (як наслідок зниження кількості підігрівів), а також зниження витрат на оснащення за рахунок застосування елементів штампування при куванні [1].

Одним з представників групи порожнистих виробів є конічний розтруб, що має форму зрізаного конуса з криволінійною бічною поверхнею. Традиційна технологія виготовлення таких деталей полягає в куванні пустотілого циліндра, а профіль деталі виходить механічною обробкою. Коефіцієнт вагової точності (відношення маси деталі до маси зливка) при цьому становить не більше 30%. Навіть в разі одиничного виробництва такий варіант виготовлення деталі не повністю виправданий.

Відомі технології виготовлення аналогічних поковок типу горловин способом закритого прошивання (видавлювання) [2, 3]. Даний спосіб спрямований на підвищення коефіцієнта вагової точності. за рахунок зниження припусків, але відрізняється великою енергоємністю процесу і низькою стійкістю інструменту.

В роботі [4] представлені технологічні процеси, які застосовуються на Іжорському заводі для отримання порожнистих великогабаритних поковок з використанням формування-витяжки. Подібна технологія виробництва порожнистих сферичних поковок застосовується на японських підприємствах [5]. Процес витяжки великогабаритних виробів має певні обмеження, пов'язані з дефектами формозміни заготовки - можливе утворення гофр, різностінності, аж до руйнування заготовки.

Спосіб розкочування складнопрофільованих конічних кілець профільованої заготовки профільованим ковальським інструментом використовується в зарубіжному виробництві [6, 7]. Даний метод можна застосовувати при куванні кілець з великим внутрішнім діаметром. У разі кування розтруба з малим діаметром необхідно використовувати відповідний дорн, який може не витримати навантажень в процесі розкочування.

В роботі [8] описана технологія виготовлення поковки типу конусного кільця, яка полягає в розкочуванні циліндричного кільця із ступінчастою зовнішньою поверхнею звичайним ковальським інструментом. Даний спосіб дозволяє істотно підвищити економію металу і знизити частку механічної обробки. Однак, незважаючи на його очевидні переваги, які полягають у використанні традиційного ковальського інструменту, високій продуктивності і точності, залишається недолік, пов'язаний з визначенням геометричних параметрів вихідної заготовки.

Метою даного дослідження процесу розкочування конічних кілець є оцінка впливу геометричних параметрів вихідної заготовки на якість виробів.

Фізичне моделювання процесу кування конусного бандажа проведено з використанням свинцевих зразків на основі способу розкочування ступінчастої порожнистої заготовки плоским бойком на циліндричному дорні (рис. 1). Циліндрична порожниста ступінчаста заготовка встановлювалась на циліндричний гладкий дорн діаметром 34 мм і розкочувалася до товщини стінки 11 мм. Величина обтиснень становила 15% від товщини стінки за натиснення. Експериментальні дослідження проводилися для оцінки можливостей процесу розкочування і підтвердження теоретичних даних.

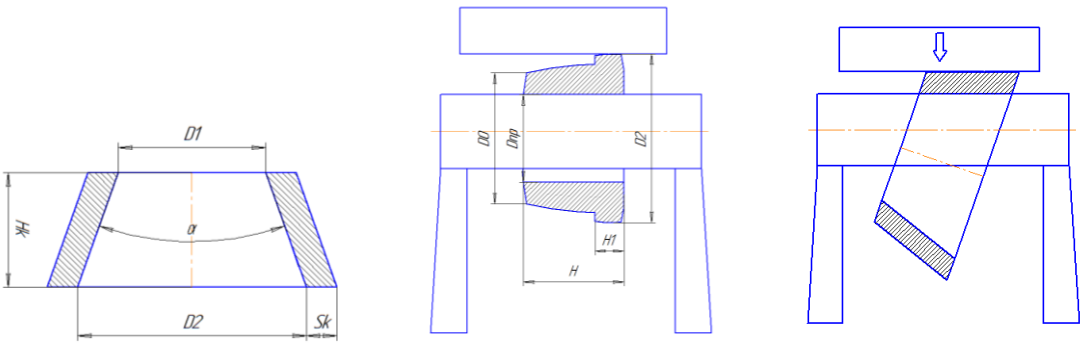
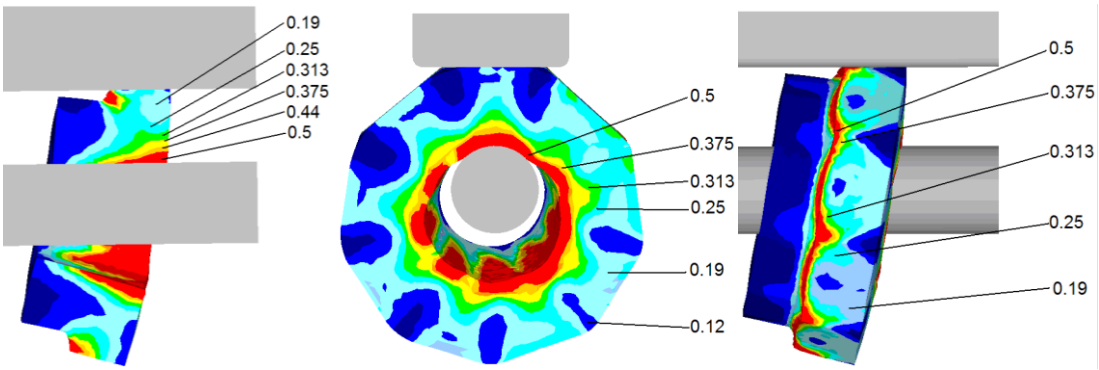


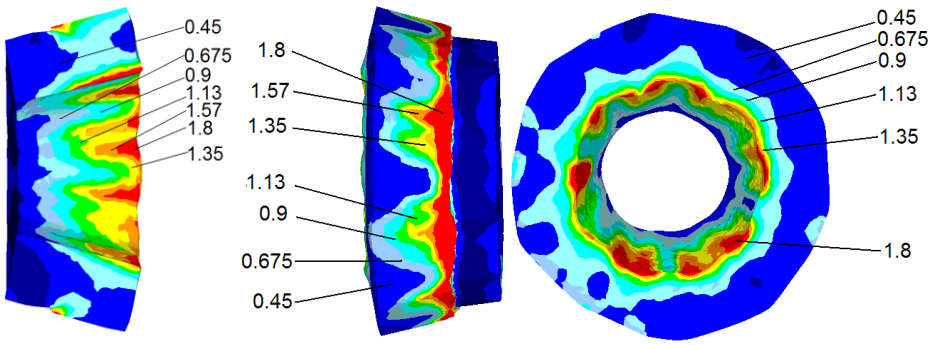
Рис. 1. Схема кування конічного кільця зі ступінчатої заготовки

Для аналізу деформованого стану заготовки в процесі розкочування використаний метод кінцевих елементів. Розміри заготовки для моделювання були такі: $D_2 = 1500$ мм, $D_0 = 1250$ мм, $D_{пр} = 500$ мм, $H_1 = 300$ мм, $H_1 = 690$ мм. В якості матеріалу заготовки приймалась сталь 35, заготовка нагрівалася до температури 1100^0С, деформування відбувалося з постійною швидкістю, що рівна 10 мм/с.

На рис. 8 показані поля розподілу деформацій за перерізом заготовки в процесі розкочування. Аналіз полів розподілу деформацій за перерізом заготовки дозволяє зробити наступні висновки.



а - 9-е натиснення/хід 100 мм



б - 26-е натиснення

Рис. 2. Поля розподілу деформацій за перетином заготовки в процесі розкочування пустотілої ступінчатої заготовки

На початку обтиснення ступінчастої заготовки верхнім бойком деформується її частина з великим діаметром. Найбільші деформації зосереджуються біля бурта заготовки. Встановлено, що біля бурта заготовки утворюється затиснення. Це говорить про те, що необхідно удосконалити форму заготовки під розкочування. Частина заготовки з меншим зовнішнім діаметром деформується менш інтенсивно. Кожне натиснення виконувалося величиною 100 мм. Видно, що вже після першого проходу по контуру заготовки верхнім бойком утворюється конусність. Це пояснюється тим, що при обтисненні основні деформації зосереджуються в області заготовки біля бурту. Таке деформування і обумовлює інтенсивну роздачу кільця з

одного боку.

Утворення затиснення при розкочуванні ступінчастою частиною кільця, є небажаним дефектом, так як це призведе до збільшення припусків, що спричинить за собою збільшення об'єму необхідного металу і відповідно вартості виробу. Уникнути появи такого дефекту можна, виконавши на зовнішній поверхні заготовки конічний перехід від бурту до меншого діаметру або сформувавши радіусне заокруглення в місці переходу.

При дослідженні впливу на затиснення форми і розмірів перехідної поверхні було проведено математичне моделювання розкочування заготовок з різними переходами від бурту до меншого діаметру. При виконанні зовнішньої поверхні заготовки з фаскою біля бурта, кут якої дорівнює 25%, поверхня заготовки не мала дефектів.

Моделювання показало, що осередок деформації по довжині заготовки обмежений довжиною вихідного бурта, не на багато перевищуючи її, що, однак, має бути враховано при призначенні припусків і напусків на деталь.

Застосовуючи профільовану заготовку куванням можна отримувати і більш складну конфігурацію виробів, таку як циліндр з розтрубом. В цьому випадку необхідно застосовувати також циліндричну порожнисту заготовку із ступінчастим зовнішнім контуром і розкочування потрібно вести вузьким бойком. Бурт на заготовці в цьому випадку повинен мати малу довжину, щоб при розкочуванні залишалася жорстка недеформована циліндрична частина заготовки.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. В результаті фізичного і комп'ютерного моделювання процесу розкочування конічних кілець встановлено, що в процесі розкочування може утворюватися дефект поковки у вигляді затиснення. Підібрана раціональна форма заготовки дозволяє уникнути появу даного дефекту.

2. На підставі фізичного моделювання отримана модель, що описує вплив параметрів заготовки на кінцеве формозмінення. Встановлено, що на величину конусності кільця впливають такі геометричні параметри порожнистої ступінчастої заготовки як довжина бурту і його зовнішній діаметр. Так, при малій довжині бурту і суттєвій рівній практично довжині заготовки конусність отримуваної заготовки незначна.

3. Встановлено, що розкочуванням заготовок із ступінчастою зовнішньою поверхнею можливо отримувати поковки типу кілець, циліндрів з розтрубами.

Список використаних джерел

1. Элементы штамповки в процессах ковки крупных поковок / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков, В. Н. Злыгорев, Л. В. Таган // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2014. – № 1 (38). – С. 62–70.
2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства: учебник для вузов / Я.М. Охрименко. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
3. Kawaguchi S. Current forging technology for integrated type steel forgings for nuclear steam supply system components / S. Kawaguchi, H. Moritani, H. Tsukada, K. Suzuki, E. Mural, I. Sato // Nuclear Engineering and Design, 1984. – №. 81 – pp. 219-229
4. Данилевский О.Ф. Обработка металлов давлением на Ижорском заводе им. А.А. Жданова / О.Ф. Данилевский, Б.А. Деревянко, Э.С. Каган, Б.А. Трифонов, Н.Т. Аристархов // Кузнечно-штамповочное производство, 1970 - №4 – С. 6-10
5. Ikuo Sato Manufacturing and material properties of forgings for the reactor pressure vessel of the high temperature engineering test reactor / Ikuo Sato, Komei Suzuki // Nuclear Engineering and Design, 1997. - № 171. – pp. 45-56
6. Erve M. State of the art in the manufacture of heavy forgings for reactor components in the federal republic of germanym / M. Erve, F. Papouschek, K. Fischer, Ch. Maidorn // Nuclear Engineering and Design . – 1988. - №108. – pp. 487-495
7. Komei Suzuki Current steel forgings and their properties for steam generator of nuclear power plant / Suzuki Komei, Ikuo Sato, Mikio Kusuhash, Hisashi Tsukada // Nuclear Engineering and Design. – 2000. - №198 pp. 15–23
8. S. Kawaguchi Current forging technology for integrated type steel forgings for nuclear steam supply system components / S. Kawaguchi, H. Moritani, H. Tsukada, K. Suzuki, E. Mural // Nuclear Engineering and Design. – 1984. - №81 pp. 219-229
9. Жбанков Я.Г. Ковка конических обечаек / Я.Г. Жбанков, Таган Л.В., Шкира А.В. // Научный вестник ДГМА, №2(8Е), 2011 – С. 8-14.

УДК 539.3/4

В.В. Чигиринский[1], Е.Н. Науменко[2]
1- Колесный завод, г.Кременчуг, 2 - Национальный технический университет "Днепровская политехника"

ДИНАМИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ

При захвате металла валками в главной линии стана возникают крутильные колебания. В результате взаимодействия колеблющихся валков и металла в очаге деформации, возникает кинематическая связь между клетями стана через упругую полосу. Учет данного взаимодействия на динамические процессы в период захвата представляет не только теоретический, но и практический интерес. На рис.1 показаны изменения моментов сил упругости при взаимодействии клетей широкополосного стана в моменты захвата металла валками, [1].

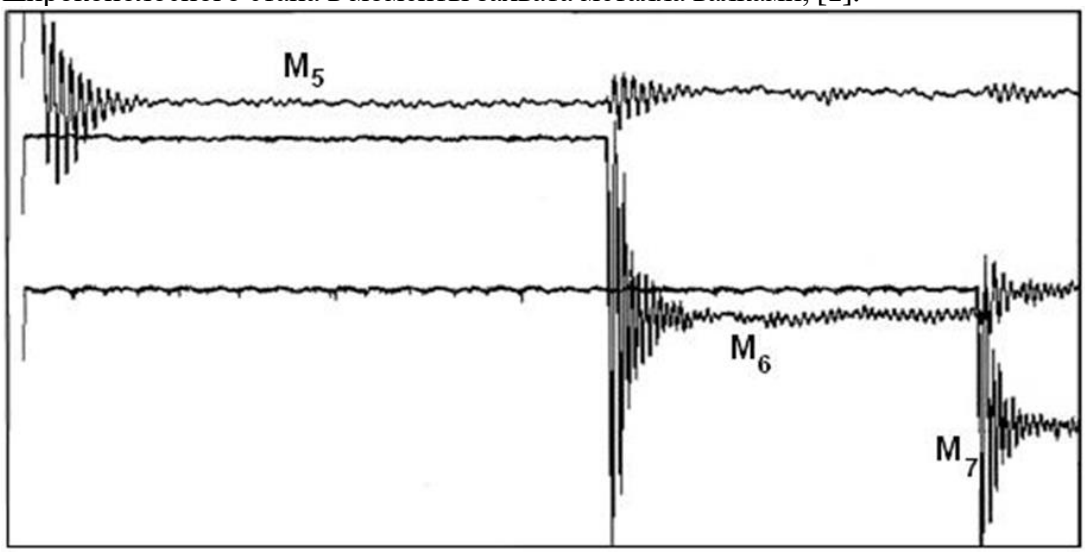


Рис. 1. Взаимосвязь колебаний моментов сил упругости в главных линиях клетей № 5, 6 и 7 (участок двигатель – редуктор)

В работе представлены результаты теоретических исследований распространения динамического воздействия захватывающей клети через полосу в межклетьевом промежутке на смежные клети стана.

Для анализа переходных процессов непрерывных станов, необходимо знать характер затухания динамического воздействия не только в главной линии захватывающей клети, но и в прокатываемой полосе, что требует физического и математического обоснования.

Вращательные колебания главной линии прокатного стана представляют собой затухающие вращательные колебания и могут быть представлены дифференциальным уравнением вида [2]

$$\ddot{\varphi} + 2b\dot{\varphi} + k^2\varphi = 0, \qquad (1)$$

Решением (1) является уравнение затухающих вращательных колебаний главного привода, [2], т.е.

$$\varphi = exp(-bt)\cdot(A\cdot Coskt + B\cdot Sinkt).$$

Для оценки взаимодействия валков и полосы в очаге деформации на динамику захвата необходимо совместно рассмотреть кинематические и динамические характеристики валка и прокатываемой полосы. Запишем теорему об изменении кинетического момента системы в скалярном виде, [2]

$$\frac{dL_x}{dt} = \sum_{k=1}^{n} M_{kx}, \qquad (2)$$

где L_x - проекция вектора кинетического момента системы на ось x; M_{kx} - моменты сил относительно оси x.

Линейное волновое уравнение представляется в виде [3]

$$\frac{d^2 u_x}{dt^2} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}, \tag{3}$$

где u_x - упругое затухающее перемещение в полосе межклетьевого промежутка; a - скорость перемещения фронта упругой волны.

После преобразований и подстановки, распишем выражение (2)

$$\frac{dL_x}{dt} = I_x \cdot \frac{d\omega}{dt} + m \cdot R \cdot \left[R \cdot \frac{d\omega}{dt} \cdot \left(1 + S'\right) + R \cdot \omega \cdot \frac{dS'}{dt} \right] =$$
$$= -M_{np} - M_{yn} - M_c$$

где M_{np} - момент прокатки; M_{yn} - момент сил упругости; M_c - момент сил вязкого сопротивления; S' - переменное опережение в очаге деформации во время заполнения его металлом.

Последнее выражение можно представить в виде

$$I_{np} \cdot \ddot{\varphi} + 2b' \cdot \dot{\varphi} + C_{yn} \cdot \varphi = -M_{np}, \tag{4}$$

где $I_{np} = I_x + R \cdot \left(1 + S'\right) \cdot m \cdot R$, $2b' = m \cdot R^2 \cdot \frac{dS'}{dt} + \mu$, или в окончательном виде уравнение (4)

$$\ddot{\varphi} + 2b \cdot \dot{\varphi} + k^2 \cdot \varphi = -\frac{M_{np}}{I_{np}},$$

Общее решение имеет вид

$$\varphi = exp(-bt) \cdot \left(A \cdot Cosk \cdot t + B \cdot Sink \cdot t\right) - \frac{M_{np}}{C_{yn}}. \tag{5}$$

На втором этапе воспользуемся дифференциальным уравнением (3). Решение волнового уравнения определяем с помощью метода аргумент функций [4]. Краевые условия (5) показывают, что искомое выражение должно содержать экспоненту и тригонометрическую функцию, т.е.

$$u = C \cdot exp\,\theta \cdot Cos A\Phi, \tag{6}$$

где аргумент функции θ, $A\Phi$ подлежат определению решением задачи. Подставим (6) в (3), с учетом того, что указанные функции допускают вторые производные, имеем

$$\left[\left(a^2\theta_{xx} - \theta_{tt}\right) - \left(a^2 A\Phi_x^2 - A\Phi_t^2\right) + \left(a^2\theta_x^2 - \theta_t^2\right)\right] \cdot Cos A\Phi -$$
$$- \left[\left(a^2 A\Phi_{xx} - A\Phi_{tt}\right) - 2\left(a^2\theta_x A\Phi_x - \theta_t A\Phi_t\right)\right] \cdot Sin A\Phi = 0. \tag{7}$$

После анализа (7) можно записать окончательное решение задачи линейного волнового уравнения в виде

$$u = C_1 \cdot exp\,\theta_1 \cdot \left(C_1' \cdot Sin A_1\Phi_1 + C_1'' \cdot Cos A_1\Phi_1\right) +$$
$$+ C_2 \cdot exp\,\theta_2 \cdot \left(C_2' \cdot Sin A_2\Phi_2 + C_2'' \cdot Cos A_2\Phi_2\right) + C \tag{8}$$

при условии существования соотношений для аргумент-функций:

$$a\theta_{1x} = \pm\theta_{1t}, \; aA_1\Phi_{1x} = \pm A_1\Phi_{1t},$$
$$a\theta_{2x} = \pm\theta_{2t}, \; aA_2\Phi_{2x} = \pm A_2\Phi_{2t},$$

$$a^2\theta_{1xx} - \theta_{1tt} = 0,\ a^2 A_1\Phi_{1xx} - A_1\Phi_{1tt} = 0,$$
$$a^2\theta_{2xx} - \theta_{2tt} = 0,\ a^2 A_2\Phi_{2xx} - A_2\Phi_{2tt} = 0.$$

Удовлетворяя дифференциальным соотношениям (8), имеем с учетом полученных аргумент функций

$$u = C_1 \cdot exp\, A_1 A_6 (x + a\cdot t)\cdot\left[C_1' \cdot Sin A_1 A_3 (x + at) + C_1'' \cdot Cos A_1 A_3 (x + at)\right] +$$
$$+ C_2 \cdot exp\, A_2 A_{10} (x - a\cdot t)\cdot\left[C_2' \cdot Sin A_2 A_7 (x - a\cdot t) + C_2'' \cdot Cos A_2 A_7 (x - a\cdot t)\right] + C. \quad (9)$$

Выражение (9) можно интерпретировать, как частный случай решения Даламбера [3], в котором присутствуют, как возрастающие по времени, так и убывающие зависимости.

При затухающем воздействии, очевидно $C_1 = 0$, тогда выражение (9) запишется в виде

$$u = C_2 \cdot exp[A_2 A_{10}(x - a\cdot t)]\cdot\left[C_2' \cdot Sin A_2 A_7 (x - a\cdot t) + C_2'' \cdot Cos A_2 A_7 (x - a\cdot t)\right] + C. \quad (10)$$

С учетом (10) перемещения в упругой полосе в межклетьевом промежутке запишутся в виде

$$u = C^o\left\{exp\left(\frac{b}{a}\cdot(x - a\cdot t)\right)\left[-A\cdot Sin\frac{k}{a}\cdot(x - a\cdot t) + B\cdot Cos\frac{k}{a}(x - a\cdot t)\right] - \cdot \right.$$
$$\left. -\frac{M_{пр} \mp M_{вн.з}}{C_{уп}}\right\}$$

Отсюда угловые колебания привода предыдущей клети примут вид

$$\frac{\varphi}{\varphi_{пр}} = \frac{\lambda\cdot exp\, b\cdot(-a\cdot t)\left[-A\cdot Sin\frac{k}{a}\cdot(-a\cdot t) + B\cdot Cos\frac{k}{a}(-a\cdot t)\right]}{exp\, b\cdot(-L - a\cdot t)\left[-A\cdot Sin\frac{k}{a}\cdot(-L - a\cdot t) + B\cdot Cos\frac{k}{a}(-L - a\cdot t)\right]}.$$

Из последнего соотношения видно, что размахи затухающих колебаний предыдущей клети, примерно, в $\frac{1}{\lambda}exp(bL)$ раз меньше размахов колебаний захватывающей клети.

Таким образом, физическая модель и математическая позволяют качественно и количественно определить взаимодействие клетей в виде волнового процесса передачи возмущения от одной клети к другой. Данные теоретические разработки подтверждены экспериментальными данными работ [1] и [5].

Выводы

1. Динамическое взаимодействие между смежными клетями непрерывного стана представляются в виде волнового процесса в упругой полосе расположенной в межклетьевом промежутке.
2. Рассмотрена затухающая модель крутильных колебаний главной линии стана захватывающей клети.
3. Определены математические зависимости толкающего воздействия очага деформации на полосу в межклетьевом промежутке.
4. Получено решение линейного волнового уравнения в упругой зоне с использованием метода аргумент функций.
5. Показано, что затухание импульсного воздействия со стороны валков захватывающей клети определяется динамическими процессами в полосе расположенной в межклетьевом промежутке.
6. Проведен сопоставительный анализ крутильных колебаний захватывающей и смежной клетей.

Список использованных источников

1. Веренев В.В., Путноки А.Ю., Подобедов Н.И. Переходные процессы при непрерывной прокатке, - Днепр: "Літограф", 2017. - 114с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики, - М: Высшая школа, 1998. - 409с.
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики, М.: Наука, 1977.- 735с.
4. Chigirinsky V., Putnoki A. Development of a dynamic model of transients in mechanical systems using argument-functions // Eastern-European JOURNAL of enterprise technologies. - 2017. - № 3/7 (87). P. 11-21.
5. Путноки А.Ю. Вибродинамические процессы в клетях ШПС 1680 // Обработка металлов давлением. - 2014. - №1(38) с.233…239.

УДК 629.7.036:62-762

Е.В. Кондратюк, Ю.І. Торба, А.В. Четверіков, М.О. Гребенніков, Л.Л. Ємел'янова
ЗМКБ «Прогрес» імені академіка О. Івченко, Запоріжжя

КОНТРОЛЬ ВИТРАТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩІТКОВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ГАЗОТУРБІННИХ ДІВИГУНІВ

Розглядається контроль витратних характеристик щіткових ущільнень газотурбінних двигунів як невід'ємна частина технологічного процесу їх виготовлення. Показано, що витратна характеристика є головним критерієм оцінювання якості ущільнень та показником їх ефективності. Виконано порівняльний аналіз щіткового та лабіринтового ущільнень. Встановлено перевагу щіткових перед лабіринтовими ущільненнями за рахунок підвищення ущільнюючих властивостей, пристосування волокон до зміщень валу, зниження металомісткості та ваги конструкції.

Встановлено, що такі властивості, як гнучкість, податливість ущільнюючого пакету, а також точність формування внутрішнього діаметру - головні параметри, які забезпечують працездатність щіткових ущільнень та впливають на величину витрати повітря.

Розглянуто види поєднання ущільнюючого елементу з валом, встановлено величину монтажного зазору між контактуючою парою, представлено графік залежності допуску на внутрішній діаметр ущільнення від часу роботи у двигуні. Описано особливості та порядок вимірювання внутрішнього діаметру, представлено приклад результатів виміру у вигляді графічного протоколу з зображенням круглограми.

Розглянуто жорсткість як здатність дротового пакету опиратися любій деформації. Представлено конструкцію приладу для визначення жорсткості пакету. Вказано параметри, які впливають на вимірювання жорсткості в статичних умовах та в умовах експлуатації щіткових ущільнень. Виконано аналіз зарубіжних досліджень та представлено графік залежності коефіцієнта жорсткості від перепаду тиску. Досліджено поведінку волокон ущільнення при експериментальних продувках. Представлено зміну величини зазору між контактуючою парою від подачі тиску на підсвіченій ділянці. Даним експериментом підтверджено, що ущільнюючий пакет є нежорсткою системою.

Представлено конструкції установок для контролю витрати повітря через ущільнення у статичному положенні валу. Описано принцип роботи установки та методика перевірки витратних характеристик. Відмічено вплив інших конструкторсько-технологічних та експлуатаційних параметрів на ефективність щіткових ущільнень.

Благодарность Зиличихису Сергею Давидовичу за весомый вклад в проведение исследований и технологию создания щёточных уплотнений ГТД.

Список использованных источников

1. Sealing in Turbomachinery [Text] / Raymond E. Chupp, Robert C. Hendicks // NASA TM – 214341, Glen Research Center, Cleveland, Ohio, 2006.
2. Экспериментальное исследование расходных характеристик щеточного уплотнения и сравнение с лабиринтным уплотнением [Текст] / Г.М. Горелов, В.Е. Резник, В.И. Цибизов // Авиационная техника. – 1988. – №4. – С.43–46.
3. Сравнительный анализ щеточного и лабиринтного уплотнений ГТД [Текст] / Э.В. Кондратюк, С.Д. Зиличихис, М.А. Гребенников, С.И. Хижняк, Л.Л. Каминская // Вестник двигателестроения. – 2009. – №1. – С.66–70.
4. Основы конструирования: [Справочно-методическое пособие в 2-х кн. Кн.1]; под ред. П.Н. Учаева – [изд.3-е, испр.].– М.: Машиностроение, 1988.–560с.
5. Fundamental design issues of brush seals for industrial application [Text] / Saim Dinc, Mehmet Demiroglu, Norman Turnquist [et al.] // ASME Paper 2001– GT–0400. New Orleans, Louisiana, USA, June 4-7, 2001.

6. Design features and performance details of brush seals for turbine applications [Text] / Matthias Neef, Eric Sulda, Norbert Surken, Jan Walkenhorst. // ASME Paper GT2006-90404. Barcelona, Spain, May 8-11, 2006.
7. The MTU Brush Seal Design [Text] / Alfons Gail, Stefan Beichl // MTU Aero Engines. – Germany, Munich.
8. J. Ferguson. Brushes as High Performance Gas Turbine Seals [Text]/ J. Ferguson // ASME Paper 88–GT–182, 1988.
9. Relative performance comparison between baseline Labyrinth and Dual-brush compressor discharge seals in a T-700 engine test [Text] / Robert C. Hendricks, Thomas A. Griffin, Teresa R. Kline [et al.] // NASA TM–106360. Prepared for the 39th International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition sponsored by the ASME, The Hague, Netherlands, June 13-16, 1994.
10. The problems of an internal diameter forming in the packing element of brush seal GTE [Text] / E. V. Kondratyuk, S. D. Zilichikhis, M.A. Grebennikov, L.L. Kaminskaya // Technological system – 2009. - №1. – P.20–24.
11. Выбор материала для щеточных уплотнений ГТД [Текст] / В.Е. Замковой, Э.В. Кондратюк, С.Д. Зиличихис [и др.] // Технологические системы.–2010. – №3.
12. A Slow-speed Rotating Test Facility for Characterizing the Stiffness of Brush Seals [Text] / Gervas Franceschini, Jonathan J. Morgan, Terry V. Jones // ASME Paper GT2006–91335. Barcelona, Spain, May 8-11, 2006.
13. An Investigation of Tip Force Characteristics of Brush Seal [Text] / Mehmet Demiroglu, Mustafa Gursoy, John A. Tichy // ASME Paper GT2007–28042. Montreal, Canada, May 14-17, 2007.
14. Mahmut F. Aksit. Analysis of brush seal bristle stresses with pressure-friction coupling [Text] / Mahmut F. Aksit // ASME Paper GT2003–38718. Atlanta, Georgia, USA, June 16-19, 2003.
15. Hysteresis and Bristle Stiffening Effects of Conventional Brush Seals [Text] / Basu, P., Datta., P., Johnson, A., Loewenthal, R., Short. J // Journal of Propulsion for Power. 1994. – V.110. – N.4. – P. 569-575.

УДК 621.791.76.044.2

С.Н. Пахомов
Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» имени М.К. Янгеля»,
г. Днепр, e-mail: info@yuzhnoye.com

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОКОПОДВОДЯЩИХ УЗЛОВ В УСЛОВИЯХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ЮЖНОЕ» ИМЕНИ М.К. ЯНГЕЛЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ

Современный уровень развития энергоемких отраслей производства, таких как цветная, черная металлургии, энергетика и др. предъявляет повышенные требования к показателю затрачиваемой электроэнергии на выпуск единицы продукции. Одним из возможных путей снижения удельного расхода электроэнергии является уменьшение электрических потерь в токоподводящих узлах силовых электротехнических устройств (электролизеров, сталеплавильных печей, коммутационных распределителей и др.).

Как правило, внутренние части и выводы электротехнических устройств изготавливаются из электротехнической меди, а силовые магистральные токоподводящие элементы (кабели, шины, провода) выполняются алюминиевыми, что обусловлено хорошей электропроводностью, относительно невысокой стоимостью по сравнению с медью и малым удельным весом.

Большие перспективы имеет применение биметаллов для изготовления неразъемных контактов в электрических цепях. Именно на контакты приходится основная доля потерь электроэнергии в токонесущих деталях. Применение биметаллических контактов вызывается следующими причинами: конструированием шинопроводов и электродов и других деталей из разнородных металлов; необходимостью создания коммутирующего контакта между токоведущими не медными деталями; применением составных токоведущих деталей в целях экономии дорогостоящих и дефицитных металлов; увеличением механической прочности токоведущих деталей, изготовленных из высокопластичных металлов и сплавов.

Для соединения разнородных участков силовых цепей широко применяются переходные элементы, изготовленные различными технологическими способами.

Вопросам свариваемости меди с алюминием традиционно уделялось много внимания как специалистов в области сварки плавлением (Рабкин Д.М., Рябов В.Р., Воропай Н.М. , Лозовская А.В. и др.), так и исследователей, чья сфера интересов охватывает проблемы получения сварного соединения в твердой фазе (Красулин Ю.Л., Шоршоров М.Х. Каракозов Э.С. Казаков Н.Ф. и др.). Анализ использующихся традиционных методов сварки плавлением и давлением медно-алюминиевых композиций показал, что до настоящего времени ни один из них не обеспечивает высоких эксплуатационных свойств последних, что связано с особенностями металлургического взаимодействия составляющих элементов [1].

Сварка взрывом является способом, обеспечивающим по сравнению с другими методами получение качественного соединения меди с алюминием. Благодаря быстротечности процесса сварки взрывом, она концентрирует в себе максимальные преимущества по сравнению с другими способами: отсутствие или незначительные включения интерметалидов в шве, высокую прочность и стабильное качество соединений, возможность изготовления плоских и цилиндрических медно-алюминиевых заготовок большой площади.

В настоящем докладе показаны основные этапы разработки технологий сварки взрывом меди с алюминием с площадью сварки 350х350 мм, 600х300 мм (рис.1) и приведены результаты испытаний и исследований биметалла медь-алюминий.

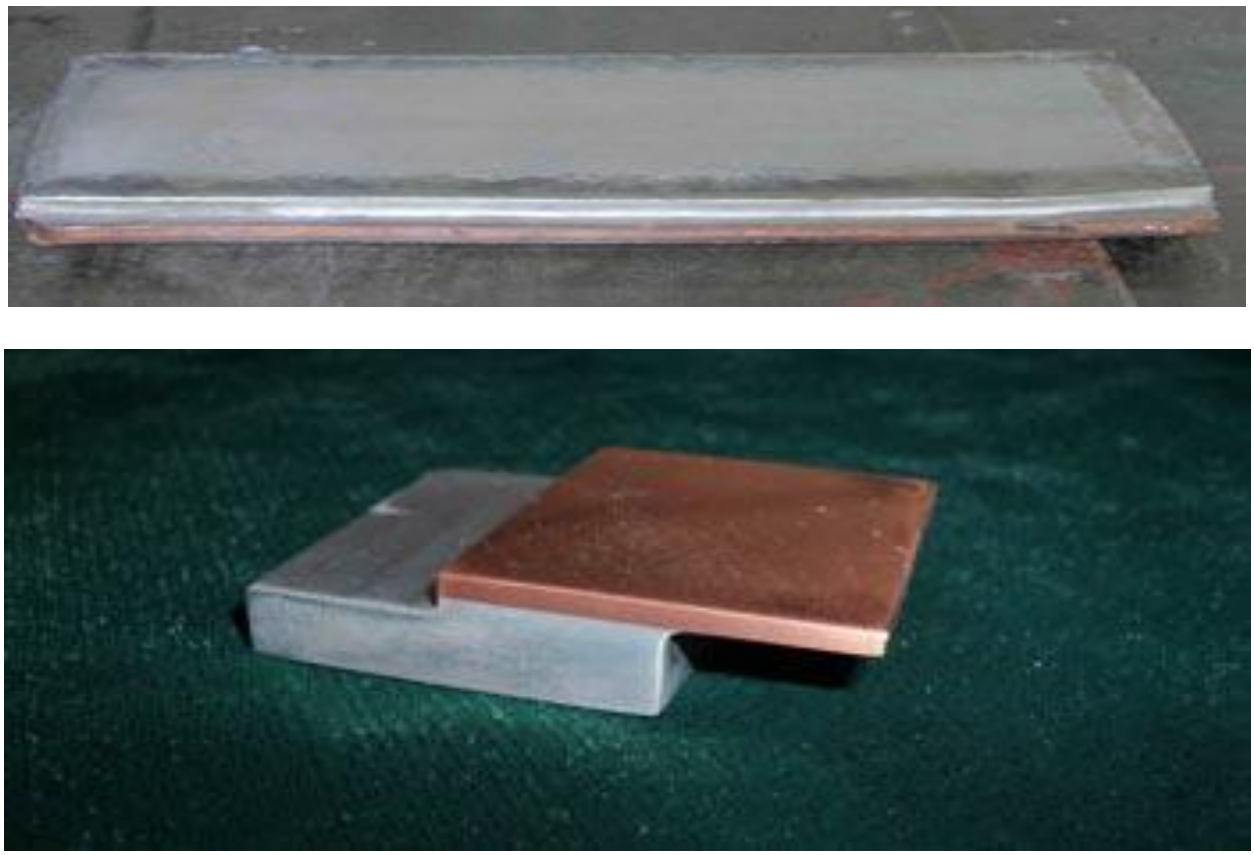


Рис.1. Медно-алюминиевые композиты

Контроль качества сварки биметалла медь-алюминий осуществлялся разрушающими методами (испытания на отрыв, на гиб). Исследования на отрыв показали, что разрушение всех образцов при испытаниях проходят по слою алюминия с образованием шейки, что свидетельствует о качественном сцеплении слоев биметалла.

В процессе отработки технологий сварки меди с алюминием проводились металлографические исследования границы соединяемых поверхностей, вид которой характеризует качество соединения слоя медь–алюминий (рис.2).

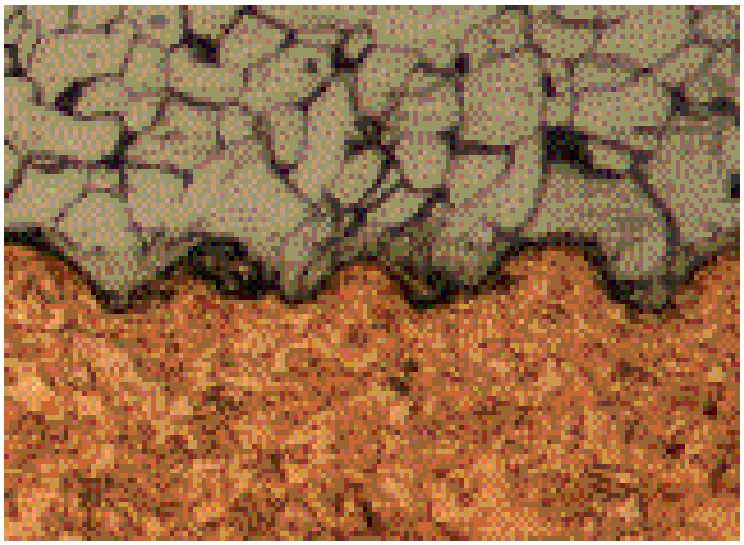


Рис.2. Соединение медь-алюминий, полученное на оптимальных режимах сварки взрывом.

При разработке технологии сварки меди с алюминием в условиях ГП КБ «Южное» учитывались следующие основные особенности:

- для сварки взрывом использовались смесевые взрывчатые вещества (ВВ) на основе аммонита и аммиачной селитры. Применялись смеси ВВ заданного гранулометрического и химического состава;

- оптимальная прочность соединения металлов при сварке взрывом переходных элементов достигается при послойном плакировании;

- для исключения образования точечных непроваров и достижения более равномерной скорости детонации применяли дополнительное уплотнение заряда ВВ.

Получение биметалла с требуемыми свойствами возможно только при достижении прочного соединения слоев по всей поверхности контакта, сохраняющегося при всех последующих операциях обработки биметалла, а также при его эксплуатации [2,3].

Применение сваренных взрывом по технологии ГП КБ «Южное» медно-алюминиевых композитов в качестве контакт-элементов сильноточного оборудования позволяет, во-первых, снизить потери электроэнергии при соединении разнородных участков токоведущих узлов, во-вторых, уменьшить материальные затраты за счет экономии дефицитных материалов при монтаже (замене) новой конструкции, а также исключить электрохимическую коррозию контактных соединений и обеспечить их долговременную работоспособность практически в любых агрессивных средах.

Список использованной литературы

1. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. – Москва.: Машиностроение, 1986. – 260 с.
2. Кудинов В.М., Коротеев А.Я. Сварка взрывом в металлургии. - М.: Металлургия, 1978. – 165 с.
3. Петушков В.Г. Применение взрыва в сварочной технике. - Киев.: Наукова думка. 2005.-753 с.

УДК 621.771

И.К. Огинский, К.В. Таратута
Запорожский национальный университет, г. Запорожье
oginskyy@gmail.com, taratutazp@gmail.com

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ БЕССЛИТКОВОЙ ПРОКАТКИ

Бесслитковая прокатка известна достаточно давно, ее основателем является Г. Бессемер [1]; другим достаточно распространенным названием этого процесса является «валковая разливка-прокатка». Бесслитковая прокатка включает совмещение весьма разнородных процессов – литья металла и практически одновременной его обработки давлением. Именно различие по своей принципиальной сути (процесс жидкого преобразования металла с переходом его в другие формы обработки) выделяет этой способ среди других достаточно распространенных совмещенных процессов, но относящихся, например, только к обработке металлов давлением. Среди наиболее близких по сути совмещенных процессов следует выделить непрерывную разливку с последующей прокаткой [2, 3]. Вместе с тем, названное совмещение при своей достаточной близости является только неким аналогом бесслитковой прокатки, которая продолжает занимать свое особое место. Непрерывная разливка возникла намного позже бесслитковой прокатки по причине того, что долгое время не удавалось решить проблемные теоретические и практические положения, вставшие на пути реализации идеи Г. Бессемера. Ситуация усугубляется тем, что по ряду положений базовой теории прокатки не выработано единства мнений, существуют спорные положения и противоречия [4-7].

Целью и задачей настоящей работы является освещение отдельных проблемных положений базовой теории прокатки, анализ некоторых совмещенных процессов обработки металлов давлением, выделение основных теоретических и прикладных направлений развития и создания процессов бесслитковой прокатки.

Совмещения процессов при обработке металлов давлением включают следующие основные виды: прокатка-волочение, прокатка-прессование, прокатка-ковка, прокатка-гибка, прокатка-штамповка, прокатка-разделение, прессование-волочение, валковая разливка-прокатка. Практически во всех перечисленных случаях основой является прокатка, второй процесс в паре является зависимым. Процесс бесслитковой прокатки на своей деформационной стадии включает одновременно элементы собственно прокатки, волочения и прессования (проталкивания), по этой причине среди всех названных видов наибольший интерес представляют первые два. Несколько групп совмещенных процессов, где базой является прокатка, основаны на использовании резерва тянущих и/или вталкивающих сил в системе валки-металл. Процесс бесслитковой прокатки в этом отношении не является исключением, и в некоторых случаях более глубокая оценка тянущих сил может оказаться весьма необходимой.

Научную основу создания совмещенных процессов составляют труды отечественных и зарубежных ученых. При этом наряду с базовыми знаниями необходимыми становятся сведения из смежных областей знаний: материаловедения, физики твердого тела, трибологии и других. В совмещенных процессах, основу которых составляет прокатка, затрагиваются вопросы трибологии и физики твердого тела с задачей выяснения осуществимости нового технологического решения. Совмещение процессов создает дополнительные сложности в формулировании граничных условий и оценке в целом вновь созданного технологического объекта. Ситуация усугубляется тем, что каждый из совмещаемых процессов является недостаточно исследованным, совмещение процессов создает новые дополнительные задачи. В частности, в теории прокатки существуют спорные и противоречивые положения, которые будучи примененными в таком неразрешенном виде к вновь создаваемым процессам способствуют созданию дополнительных неточных выводов и решений [7].

Много проблемных положений содержит теория пластического трения при прокатке [8], в

качестве примера можно привести мнение автора [9], который справедливо отмечая нереализованные возможности прокатной клети в части дополнительной деформации, одновременно в части физического обоснования допускает серьезную неточность. Автор скрытые возможности сводит к «более полному использованию сил трения в очаге деформации», то есть, наделяет их несвойственными им функциями. Силам трения присваивается роль втягивающих или вталкивающих («активных») сил, в то время как они являются реактивными по определению [10], в результате возникает термин «резервные силы трения», который не согласуется с принципами механики, он закрепился в научно-технической литературе и у него имеется своя история возникновения. Термин зародился на этапе создания основ теории прокатки, в частности, этому поспособствовало объяснение И. М. Павлова кинематической картины на контакте металла с валком и природы образования опережения.

Весьма важным фактором при создании новых видов оборудования для совмещенных и комбинированных процессов является определение энергосиловых параметров. Сказанное относится ко всем видам обработки металлов давлением и относящимся к ним процессам и операциям. Определение энергосиловых параметров прокатки представляет собой нелегкую задачу даже для сравнительно простых случаев, для сложных процессов достаточно глубоких теоретических решений не создано, недостаток теории компенсируется достижениями практики, основу которых составляет экспериментальный материал. Существующие подходы к определению энергосиловых параметров нуждаются в серьезном пересмотре [11]. Еще в большей степени проблемной становится ситуация для случаев создания совмещенных процессов, где показатели незнания суммируются. Причина отсутствия достаточно надежных методов определения энергосиловых параметров, в частности, состоит и в том, что не созданы единые концептуальные подходы к оценке пластического трения [8].

Вопросы пластического трения при прокатке заслуживают отдельного и достаточно глубокого рассмотрения. Трение лежит в основе процесса прокатки и необходимым условием успешного решения теоретической или прикладной задачи прокатки является удачный выбор и использование имеющихся научных достижений в области пластического трения. Общие закономерности пластического трения, пригодные для решения достаточно широкого класса задач теории прокатки, не выявлены, об этом свидетельствует различие взглядов по отдельным вопросам, дискуссионность и прямо противоположные точки зрения [6, 12]. Существуют различные точки зрения на природу внешнего трения при прокатке, по-разному воспринимается применимость законов и моделей трения. Единство мнений по вопросам контактного взаимодействия не достигнуто, более того, обсуждение порой носит острый дискуссионный характер. По мнению одного из авторов дискуссии [12]: «…в понимании пластического трения все еще возможны сильные различия». Отсутствие единства мнений по основным положениям пластического трения усложняет решение задач, делает их результаты неоднозначными в оценках.

В исследованиях процессов бесслитковой прокатки задача определения кинематических параметров не настоящего времени не являлась проблемной, поскольку установки являются одноклетьевыми, но она имеет общенаучный интерес. В части теории кинематического взаимодействия металла с инструментом по ряду положений не создано законченных решений, об этом свидетельствует различие взглядов по отдельным вопросам, дискуссионность и прямо противоположные точки зрения. Одной из причин, опять же, является неоднозначность мнений по вопросам пластического трения, о чем сказано выше.

Следует безусловно согласиться с автором [9] в части его утверждения о том, что в значительной мере совмещенные методы ОМД находятся на начальном этапе разработки. Необходимо развивать и совершенствовать начатые технологические решения, создавая для этих целей теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные предпосылки. Необходимым условием является также создание новых видов технологического оборудования. Проблемы в этом направлении имеют практический характер, они проявляются на стадии опытно-промышленных исследований. Залогом минимизации потерь на этом этапе является создание новых технологических приемов, удачных проектно-конструкторских разработок, в

том числе, для новых процессов [13-15], но первоосновой будут оставаться достоверные теоретические решения. В настоящее время практическая сторона процесса развивается преобладающими темпами по сравнению с развитием теории.

Список использованных источников

1. Bessemer H. Improvement in the manufacture iron and steel. US Patent № 49053, July 25, 1865. – 4 p.
2. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы / А.А. Минаев // Донецк: Унитех, 2008. - 552 с.
3. Коновалов Ю.В. Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов / Ю.В. Коновалов // Производство проката. 2009. - №9. - С. 37 -43.
4. Долженков Ф. Е. О некоторых противоречиях современной теории прокатки / Ф. Е. Долженков // Сучасні проблеми металургії. –Дніпропетровськ : Системні технології, 2002. –Т. 5. – С. 121–124.
5. Долженков Ф. Е. Нерешенные вопросы современной теории прокатки / Ф. Е. Долженков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 9. – С. 52–56.
6. Зильберг Ю. В. Некоторые спорные проблемы контактного трения при осадке и прокатке / Ю. В. Зильберг // Теория прокатки. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Теоретические проблемы прокатного производства». – М. : Металлургия, 1975. – С. 40–45.
7. Огинский И.К. Спорные положения и противоречия современной теории прокатки. Пластическая деформация металлов: Коллективная монография. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. С. 131-141.
8. Огинский И. К. Пластическое трение при прокатке / И. К. Огинский // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. Збірник наукових праць. – К., 2011. – № 62. – С. 150–154. – ISSN 0372-6053.
9. Фастыковский А.Р. Совмещенные процессы, использующие резервные силы трения в очаге деформации при прокатке: монография / А.Р. Фастыковский. – Новокузнецк: Изд-во НПК, 2007. – 246 с.
10. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения : ГОСТ 27674-88. – [Дата введения 01. 01. 89]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 20 с.
11. Огинский И. К. Новые подходы к определению энергосиловых параметров прокатки на основе метода конечных объемов / И. К. Огинский // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2015. - № 7. - С. 15-21.
12. Хайкин Б. Е. Операционалистический подход к проблеме трения в условиях обработки металлов давлением / Б. Е. Хайкин // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2000. – № 11. – С. 26–27.
13. Grydin O.Yu. Experimental twin-roll casting equipment for production of thin strips / O.Yu. Grydin,Y.K. Ogins'kyy, V.M. Danchenko, F.-W. Bach // Metallurgical and Mining Industry. – 2010. – № 5 (2). – P. 348–354.
14. Гридин А.Ю. / Ю.А. Гридин, И.К. Огинский, М. Шапер // Технологический литейно-прокатный комплекс для экспериментальных исследований процесса валковой разливки-прокатки / Ю.А. Гридин, И.К. Огинский, М. Шапер // Днепр: – Акцент ПП Пластическая деформация металлов : Коллективная монография – 2017 – С. 210-220.
15. Изобретение. Патент 104950 Україна, МПК (2006.01) B22D 11/06, B21B 27/03, B21B 27/08 Валок для валкової розливки-прокатки / Гридін О.Ю., Огинський Й.К., Данченко В.М., Головко О.М. (Україна); заявник та патентовласник Національна Металургійна Академія України. – № 201213079; Заявл. 16.11.12. Опубл. 25.03.14, Бюл. №6. – 6 с.: з іл.

УДК 629.7.023: 629.735.33

В.Т. Сікульський, В.Ю. Кащєєва
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ І ДОВЕДЕННЯ ФОРМИ РЕБРИСТИХ ПАНЕЛЕЙ ЛОКАЛЬНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ РЕБЕР

У конструкції транспортних літаків знайшли широке застосування монолітні панелі, які мають ряд технологічних і конструктивних переваг в порівнянні зі збірною конструкцією. Серйозною технологічною проблемою є формоутворення монолітних панелей особливо у зв'язку з тенденцією збільшення габаритів панелей.

Технологічні методи, які традиційно застосовуються, не забезпечують достатньої точності формоутворення внаслідок істотних відхилень геометричних розмірів після механічної обробки, мають низьку продуктивність формоутворення і контролю форми поверхні [1].

Внаслідок цих причин, а також внаслідок нестабільності процесу деформування панелей з малими пружно-пластичними деформаціями формоутворення здійснюють послідовно методом наближень з міжопераційним контролем геометрії [2]. Тому технологічні процеси локального деформування набули великого поширення при виготовленні панелей і обшивок [3].

Підвищення точності і продуктивності процесу деформування панелей досягається шляхом використання пристроїв, що дозволяють виробляти місцеве згинання ділянок панелей безпосередньо з контролем геометрії на координатному стенді [4]. При аналізі схем деформування ребер при правці розглядалися схеми, які представлено на рис. 1.

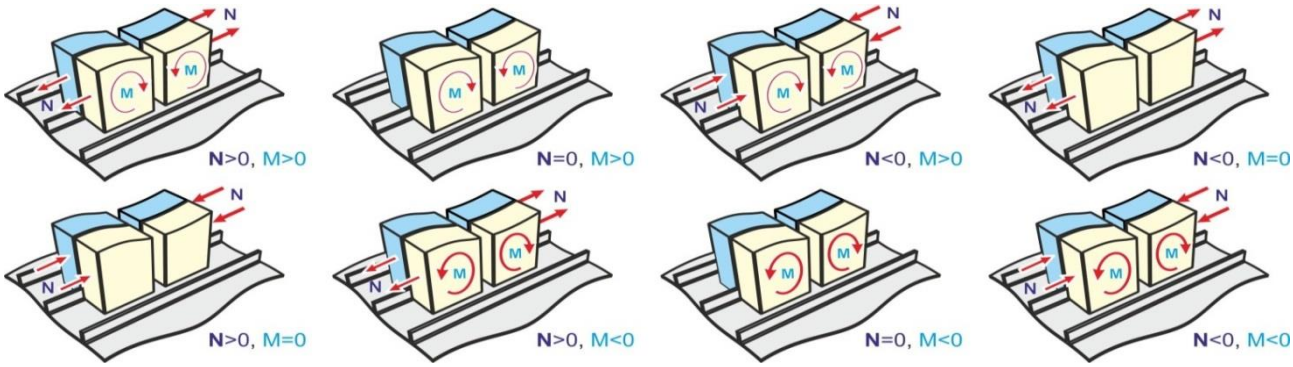


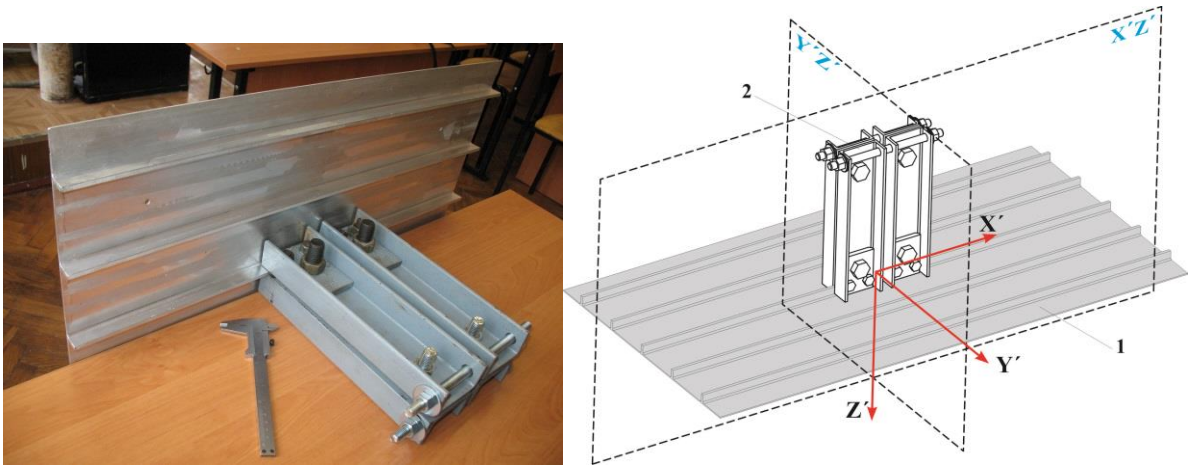
Рис. 1. Основні схеми деформування ребер панелей при правці
з використанням згинаючих моментів та з додаванням осьових зусиль

Мета роботи - дослідження особливостей і можливостей правки і доведення форми ребристих панелей багатоточковим деформуванням з застосуванням запропонованих пристроїв локального впливу.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- вибір ефективної схеми локальних впливів при симетричній формозміні монолітних ребристих панелей з жорсткими ребрами;
- експериментальні дослідження процесу локальної формозміни на зразках панелей із застосуванням запропонованого пристрою.

Для дослідження використано зразок монолітної панелі з натуральним перетином ребер шириною 520 мм, довжиною 800 мм, товщиною полотна 2,5 мм і висотою оребрення 30 мм із алюмінієвого сплаву Д16АТ. Контроль геометричних параметрів обводоутворюючої поверхні зразка здійснювався координатно-вимірювальної машиною (КВМ) портативного типу ROMER Absolute Arm (рис. 2, а).

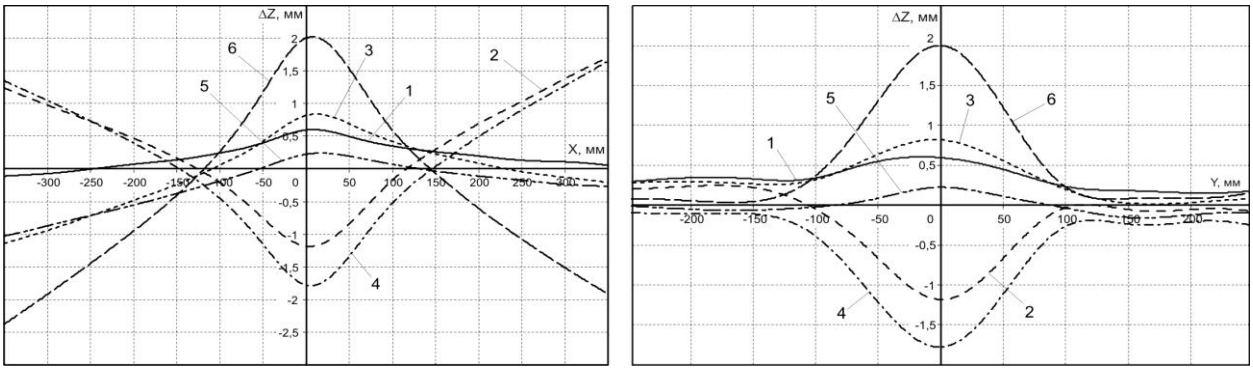


а б

Рис. 2. Зразок монолітної панелі з експериментальним пристроєм
для виконання технологічної операції правки і доведення у ручному режимі:
а - зовнішній вигляд пристрою; б - схема установки пристрою щодо системи координат панелі

Для визначення положення контрольних точок, координати яких вимірюють за допомогою КВМ, на обводоутворюючу поверхню монолітної панелі було нанесено дорожню сітку з кроком 50 мм і розмірністю 15х11 вузлів.

Графіки відхилень фактичних координат контрольних точок від прийнятих номінальних значень для кожного етапу деформування представлено на рис. 3.



а б

Рис. 3. Відхилення фактичних координат точок обводоутворюючої поверхні монолітної панелі
від прийнятих різних етапів деформування і
номінальних значень для точок поверхні, які розташовано:
а - в перерізі X'Y '; б - в перерізі Y'Z'

Експериментальні дослідження технології правки і доведення за допомогою дослідного інструменту проводились на зразках натурального перетину ребер панелей з прилеглою ділянкою полотна [5].

Дослідження режимів деформування виконувалося за допомогою інструменту, який має губки без насічок, оброблені з шорсткістю близько 2,5 - 4,0. Інструмент забезпечує достатню стабільність кута пружіненія, що пояснюється відсутністю істотного прослизання губок. Інструмент показав однакову ефективність розведення і посадки ребер різної висоти. Висота ребра практично не впливає на процес деформування, що пояснюється малою зоною деформування, яка становить близько 15 мм. Цей факт підтверджено графіком на рис. 4.

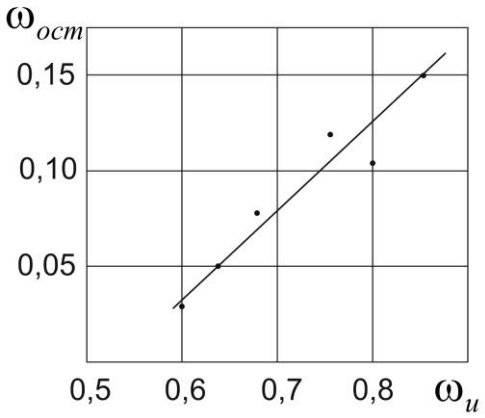


Рис. 4. Графік залежності залишкової зміни прогину $\omega_{ост}$
і зміни прогину, викликаного інструментом $\omega_{и}$

Основним фактором при згинанні зразків, що впливає на залишкову зміну прогину $\omega_{ост}$, є зміна прогину, що викликана впливом інструменту $\omega_{и}$. Оскільки відстань між губками не регулюється, кут згинання слід змінювати регулюванням ходу пневмоциліндра, який призначений для створення згинального моменту.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Експериментальні дослідження процесу локальної формозміни на зразках панелей із застосуванням експериментального пристрою показали ефективність запропонованого пристрою. При впливі експериментального пристрою прогини полотна панелі знаходяться в межах пружної деформації при обмеженні розмірів зони пластичного деформування.

2. Проведені дослідно-конструкторські роботи зі створення механізованого інструменту для доведення і правки оребрених панелей, експериментальні дослідження технологічного процесу правки і доведення методом місцевого деформування ребра підтвердили ефективність процесу і можливість його використання одночасно з процесом контролю форми панелей на контрольному стенді.

Список використаних джерел

1. Ramati, S. Single Piece Wing Skin Utilization Via Advanced Peen Forming Technology [Текст] / S. Ramati, G. Levasseur, S. Kennerknecht // International shot peening conference in Warsaw, September 28-30. – Poland, 1999. – P. 18.
2. Пашков, А. Е. Автоматизированная технология комбинированного формообразования панелей самолетов // Тр. V Всеросс. конф. «Современные наукоемкие инновационные технологии» / Самарский госуд. архит.-строит. ун-т – Самара, 2013. – С. 454–457.
3. Yue, F. Knowledge base research on the incremental press bending technology of the integral wing-skin panel [Text] / Fengli Yue, Jinsong Liu, Shihong Zhang, Yuansong. Zeng // Materials Science and Technology/ − № 16(3). – 2008. − P. 306−309.
4. Yu, Y. FEM modelling for press bend forming of doubly curved integrally stiffened aircraft panel [Text] / Yan Yu , Wang Haibo , Wan Min // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. − № 22. − 2012. − P. 39−47.
5. Сикульский, В. Т. Создание технологии правки и доводки формы монолитных панелей без использования пресса / В. Т. Сикульский. – Авиационно-космическая техника и технология: №5 (102): Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2013. – С. 12–16.

УДК 621.771.23:669.2

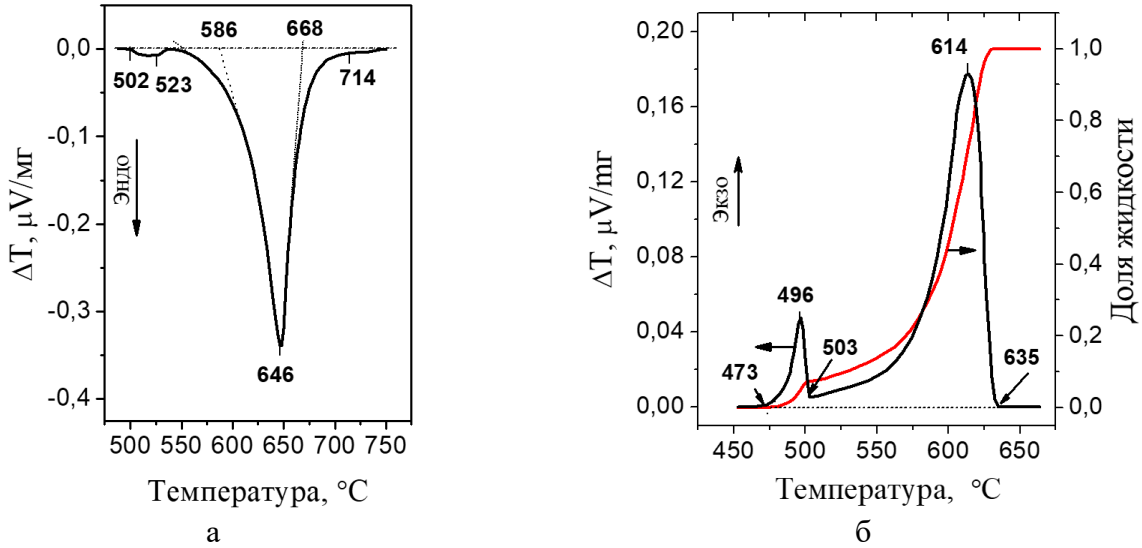
А.Г. Пригунова, А.В. Ноговицын, И.Р. Баранов, М.В. Кошелев
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ НА СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТА ИЗ СПЛАВА Д16, ПОЛУЧЕННОГО ЛИТЬЕМ-ПРОКАТКОЙ

Алюминиевый деформируемый сплав Д16 относится к системе Al-Cu-Mg и является наиболее распространенным представителем группы алюминиевых сплавов, применяемых в деформированном виде после обработки давлением в твердом состоянии и упрочняемых термической обработкой.

Энергосберегающей прогрессивной технологией получения листа является литье-прокатка [1] , которая отличается от традиционного способа прокатки своеобразием процесса кристаллизации и формирования структуры. Основными упрочняющими фазами сплава Д16 являются интерметаллиды $S(Al_2CuMg)$ и θ-$CuAl_2$. По литературным данным в интервале температур 20…200° С растворимость компонентов практически не изменяется, а полное растворение интерметаллидных фаз достигается гомогенизацией при температуре 480…500ºС, продолжительностью до 8 часов [2]. Учитывая особенности процесса литья-прокатки, в работе исследовали влияние выше указанного вида термической обработки на стуктуру листа из сплава Д16 при температуре 490 ºС, в течение 1…5 часов.

Прокатку осуществляли на двухвалковой установке литья-прокатки с диаметром валков 420 мм, линия соединения центров которых расположена под углом 45 градусов к горизонтали. Длина бочки – 600 мм. Скорость охлаждения в межвалковом пространстве порядка 10^3 ºС/с. Температуру гомогенизации определяли с учетом литературных данных [2] и результатов собственных исследований методом ДТА, представленных на рис. 1.

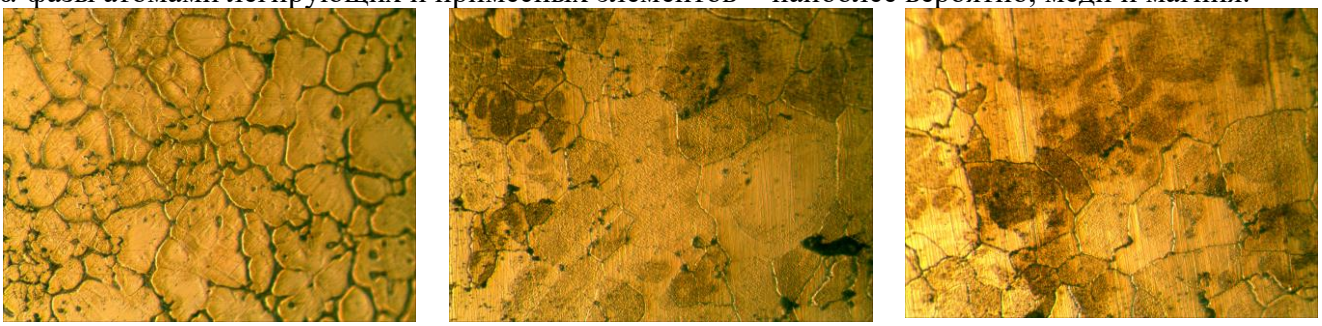


а б

Рис. 1. Приведенные кривые ДТА плавления (а), кристаллизации (б) и ДЖТ (б) сплава Д16

Структура поверхности листа, полученного прокаткой из жидкого состояния (рис. 1 а), представлена зернами твердого раствора алюминия (Al_α), по границам которых располагаются фазы $S(Al_2CuMg)$ и θ-$CuAl_2$. Несмотря на довольно широкий диапазон изменения величины зерна Al_α от 15 мкм до 70 мкм, поверхность листа характеризуется практически равномерным распределением зерен, средний размер которых составляет 30…40 мкм. Зерна твердого раствора Al_α содержат элементы субструктуры глобулярной или приближенной к ней формы, с

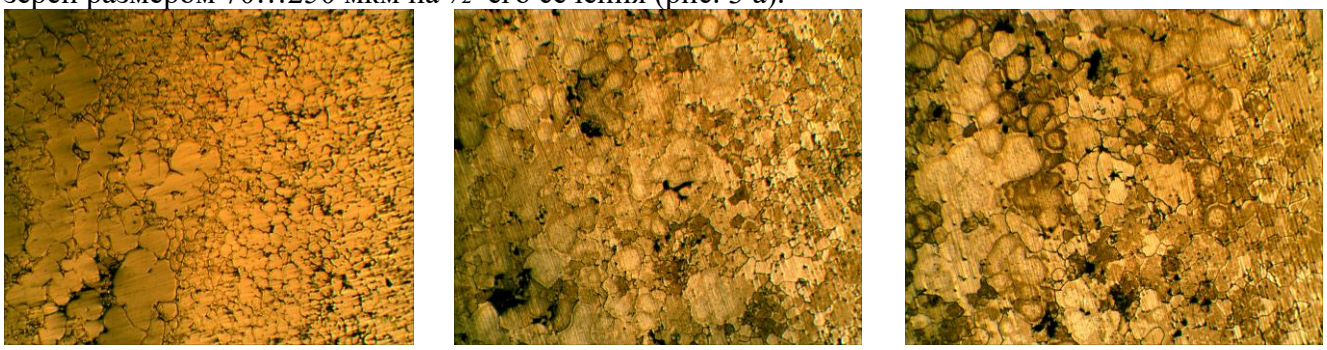
ободками по периметру, представляющими собой зоны с более высокой степенью пересыщения α-фазы атомами легирующих и примесных элементов - наиболее вероятно, меди и магния.



а б в

Рис. 2. Микроструктура поверхности листа при литье-прокатке: а – без термообработки; б - обработка 3 часа; в – обработка 5 часов, Х 200

По сечению листа толщиною 2,5 мм структура неоднородная: мелкокристаллическая (15…40 мкм) в слоях, соприкасающимися с поверхностью валков при прокатке, до грубых зерен размером 70…250 мкм на ½ его сечения (рис. 3 а).



а б в

Рис. 3. Микроструктура сечения листа при литье-прокатке: а – без термообработки; б - обработка 3 часа; в – обработка 5 часов, Х 200

Гомогенизация образцов листа из сплава Д16 при температуре 490 ºС приводит к укрупнению зерен твердого раствора алюминия, которые на поверхности листа в зависимости от времени термической обработки в среднем составляют 70…200 мкм (рис. 2 б, в). Аналогичная тенденция наблюдается в его сечении (рис. 3 б, в). Но области мелких и крупных кристаллов, которые наблюдались в образцах без термической обработки, не столь явно выражены. Усиливается процесс распада пересыщенного твердого раствора алюминия, проявляющийся в увеличения темных зон внутри зерен, занимающих практически всю их поверхность. Увеличение времени выдержки до 3…5 часов (рис. 2 б, в; 3 б, в) приводит к формированию и выделению из пересыщенного твердого раствора алюминия интерметаллидных фаз, происходит рост и коагуляция θ- и S-фаз, которые выделяются как по границам зерен, так и внутри их. Появляются участки с пережогом. Однако структура по сечению (толщине) листа становится более однородная. Отсутствуют зоны с преимущественно мелкими или крупными зернами α-фазы.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод:

Специфичность процесса литья-прокатки по сравнению с прокаткой в твердом состоянии позволяет существенно сократить время термической обработки гомогенизацией листа из сплава Д16, которое не должно превышать более трёх часов.

Список використаних джерел

1. Гридин А.Ю. Получение полос из высокопрочных алюминиевых сплавов валковой разливкой-прокаткой / А.Ю. Гридин, М. Шапер, В.Н. Данченко // Обработка металлов давлением. – 2011. – № 3 (28). – С. 184 – 194.
2. Захаров Е.Д., Ливанов В.А. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Под ред. Добаткина В.С.- М.: Металлургия.- 1970 – С. 232 – 247.

УДК 621.762:539.3

О.В. Мозговий
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

ВТРАТИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВОЛОКНИСТИМИ КОМПОЗИТАМИ З ПОЛІМЕРНОЮ МАТРИЦЕЮ

Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) в останні роки широко використовуються в промисловості і народному господарстві. Висока питома міцність, поліпшені технологічні і експлуатаційні параметри ПКМ, при порівняно не високих енергетичних і трудових витратах, дають змогу розширювати їх використання у різних галузях сучасної техніки [1]. Підвищення ресурсу і експлуатаційної надійності виробів із таких матеріалів досягається поліпшенням існуючих і застосування нових технологічних методів при їх виготовленні.

Досліджувались волокнисті композиційні матеріали з полімерною матрицею, які виготовляли вакуумно-автоклавним пресуванням препрегів, що були отримані просочуванням армуючих компонентів.

Застосування нових технологічних підходів при виготовленні композиту: поліпшених армуючих структур, краща адгезія матриці з волокнами і використання мінеральних добавок у матрицю, які її зміцнюють, забезпечують збереження пружних і міцністних властивостей композиту.

Метою робити є дослідження розсіювання механічної енергії ПКМ в залежності від різних технологічних методів виготовлення композиту.

Одним із напрямів відмови від традиційних джерел енергії є вітроенергетика. На ринку достатня кількість вітряних двигунів з діаметром ротора 0,5÷1,25 м до промислових і комунальних з діаметром ротора 30÷90 м, відповідно. Потужність становить від 20÷300 Вт до 100 кВт ÷ 4 МВт [2]. Важливим елементом таких двигунів є лопаті, які виготовляють із композиційних матеріалів. Конструкція лопаті складається із оболонки і лонжерона (рис. 1). Це враховувалось при розробці композиційних матеріалів, з яких виготовляються лопаті.

Використання вуглепластиків забезпечує більш високі міцність і модуль пружності у порівнянні із склопластиками, але при цьому їхня вартість на порядок вище [1]. Використання гібридних композиційних матеріалів для виготовлення лопатей дозволяє зменшити вартість вітродвигунів. При цьому вуглецеві волокна замінюються на більш дешеві базальтові волокна. При цьому експлуатаційних характеристик композиту зберігаються. У базальтових волокнах трохи менші модулі пружності і міцності ніж у вуглецевих та враховуючи різницю цін у 5 – 10 разів, перевагу мають базальтові волокна.

Прикладом може служити оболонка лопаті вітряної турбіни малої (до 100 kW) і великої (до 4 MW) потужностей. При їх виготовленні використовують гібридний ПКМ, який армовано скляними і вуглецевими волокнами, а також базальтовими волокнами, які виготовляють із гірських порід по технологіях виготовлення скляних волокон [3]. Волокна знаходяться, відповідно, під кутами 20 і 70 градусів до поздовжньої осі лопаті. Лонжерон виготовляють із однонаправленого композиту, у якому вуглецеві і базальтові волокна розміщені вздовж поздовжньої осі (рис. 2). Модуль пружності базальтового волокна становить 70 – 90 ГПа, міцність -1,9 ГПа, діаметр 10 – 18 мкм, що наближає до характеристик середньомодульного вуглецевого волокна. Якщо діаметр зменшити до 8 мкм то міцність базальтового волокна зростає до 2,6 ГПа, що відповідає міцності високомодульних вуглецевих волокон.

У даному гібридному композиті використовуються трикотажні структури із високомодульних вуглецевих, базальтових і скляних ниток. Де у кожний петельний ряд вкладається високомодульне волокно. Для зв’язування створеної структури служить епоксидна смола типу ЭДТ-69, температура тверднення якої 398 ± 5 К.

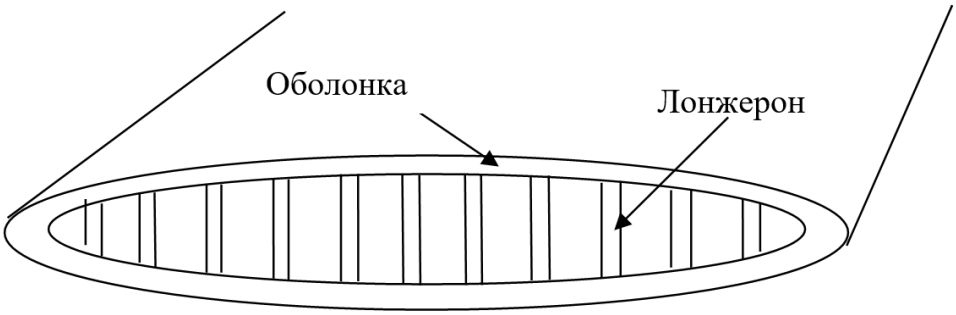
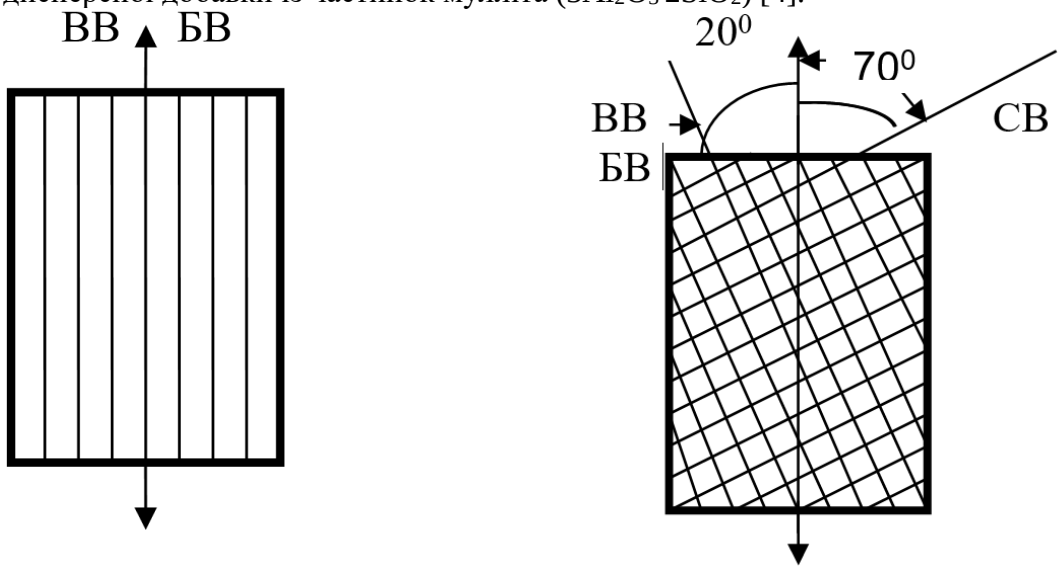


Рис. 1. Схема лопаті вітротурбіни

Збільшити поперечну міцність, а також модуль пружності вдалось введенням у епоксидну смолу дрібнодисперсної добавки із частинок мулліта ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) [4].



а) б)

Рис. 2. Схема армування вуглецевими, скляними і базальтовими волокнами гібридних полімерних композитів, з яких виготовляють лопаті вітряних двигунів (а – для лонжерона, б – для оболонки) ВВ – вуглецеві волокна, СВ – скляні волокна і БВ – базальтові волокна

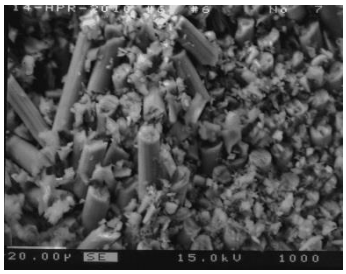
У процесі експлуатації вироби із полімерних композиційних матеріалів зазнають різних механічних рухів, у тому числі і коливних. Важливим є величина власної частоти вільних коливань і частота зовнішніх впливів. Адже співпадання їх може викликати пошкодження виробу і двигуна в цілому.

Розсіювання механічної енергії вивчали двома методами. Вільні згасаючі коливання у звуковому діапазоні і методом внутрішнього тертя на оберненому крутильному маятнику при частоті близько 1 Гц за умови збільшення та зменшення амплітуди деформації.

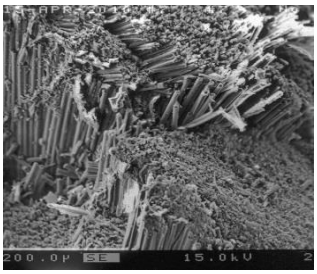
Мікроструктуру поверхні зламів ПКМ вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа CAMEBAX-SX-50. Добавлення базальтових волокон замість вуглецевих приводить до зміщення низько модульних базальтових волокон по границях зерен розділення вуглець-базальт, що підвищує розсіювання механічної енергії (рис.3).

Механічні згасаючі коливань звукової частоти зразків із ПКМ вивчали на спеціально виготовленій установці, що дозволяє записувати розгортку згасаючих коливань в комп'ютер. За допомогою запропонованої програми визначено вплив структури, напряму укладання армуючих волокон і їх складу на власну частоту механічних коливань, швидкість спаду

амплітуди і логарифмічний декремент згасаючих коливань, значення основних частот і частот гармонік досліджуваних ПКМ.



а)



б)

Рис. 3. Мікроструктура поверхні зломів при розтягуванні однонаправлених ПКМ на основі вуглецевих волокон (а); на основі вуглецевих і 20% базальтових волокон (б)

Розміщення у структурі композиту вуглецевих і скляних волокон під кутом до поздовжньої осі викликало швидше згасання механічних коливань без додаткових гармонік порівняно із структурою лонжерона, де вуглецеві і базальтові волокна розміщені вздовж поздовжньої осі. Проведений спектральний аналіз показав наявність додаткових гармонік у лонжероні.

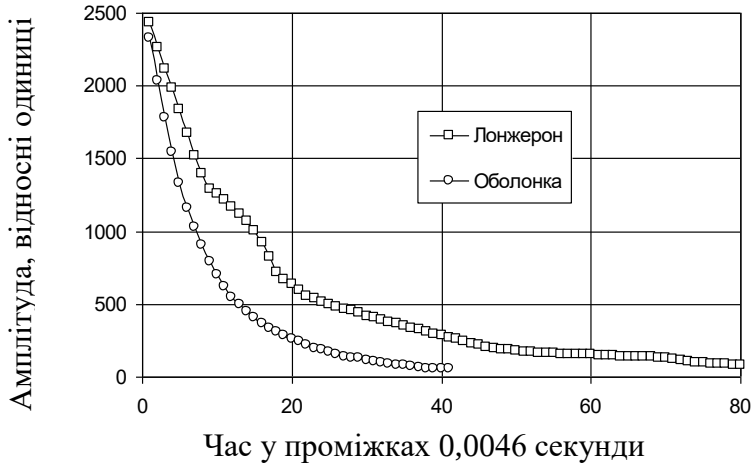


Рис. 4. Часова залежність амплітуди (а) і логарифмічного декремент (б) вільних затухаючих коливань полімерного композиту

Основна частота коливань композиту для оболонки становить біля 300 Гц, а для лонжерона - біля 400 Гц (рис. 7.37). Для лонжерона наявні додаткові гармоніки при вищих частотах: 780 Гц, 2430 Гц, 6150 Гц, 6610 Гц.

У діапазоні до 500 Гц для всіх композитів спостерігаються основні частоти від 250 до 350 Гц. Для вищих частот при наявності тільки вуглецевих волокон у кожній наступній тисячі Герц притаманні резонансні частоти. Для композитів, армованих вуглецевими і скляними волокнами, присутні гармоніки частотою 565 і 623 Гц, а вище 5000 Гц гармоніки відсутні. Присутність базальтових волокон з вуглецевими зменшують амплітуду середніх частот в діапазоні до 3000 Гц. Введення в композит всіх трьох армуючих елементів ще більше зменшує кількість резонансних частот, як в середніх так і вищих діапазонах частот до 9000 Гц. При цьому відбувається перерозподіл напружень в матеріалі і гасіння коливань.

При малих деформаціях криві амплітудної залежності внутрішнього тертя (АЗВТ) для зразків, взятих із лонжерону, мають великий кут нахилу до осі абсцис, що свідчить про істотні втрати механічної енергії при невеликих деформаціях і криві круто йдуть вгору. Після критичної амплітуди $7{,}5\cdot10^{-4}$, швидше за все сталася зміна механізму розсіювання механічної

енергії, кут нахилу кривих зменшився майже в три рази (до критичної амплітуди – tgα = 1,15, після критичної амплітуди tg α = 0,38).

Спостерігається незначний гістерезис кривих АЗВТ при збільшенні та зменшенні амплітуди деформації. Крива при збільшенні деформації проходить нижче, ніж при зменшенні деформації. Швидше за все, у процесі вимірювання внутрішнього тертя в матеріалі накопичилися дефекти, які внесли свій вклад в процес розсіювання енергії.

Введення 20% базальтових волокон замість вуглецевих дозволяє зберегти високими модуль пружності, міцність матеріалу і трохи підвищило величину розсіювання механічної енергії в 1,2-1,5 рази. АЗВТ має більш прямолінійну залежність.

Для ПКМ, які використовуються для виготовлення оболонки лопаті, за рахунок складної структури армування вуглецевими і скляними волокнами, фонове значення внутрішнього тертя менше в порівнянні з дослідженими однонаправленим ПКМ для лонжерона. Використане армування забезпечує збільшення модуля пружності і міцності в поперечному напрямку, проте, як виявилося, призводить до зменшення розсіювання механічної енергії ПКМ. Крива АЗВТ також при малих амплітудах деформації круто йде вгору, а після критичної амплітуди кут нахилу до осі абсцис зменшується до значення тангенса, рівного 0,17. Критична амплітуда дорівнює, відповідно, $2{,}5 \cdot 10^{-4}$.

Введення до складу армування ПКМ для оболонки лопаті 20% базальтових волокон, замість вуглецевих, при незмінній кількості поперечних скляних волокон (30%) призвело до зменшення кута нахилу кривої АЗВТ до осі абсцис до значення тангенса, рівного 0,2, відсутності петлі гістерезису і підвищенню фону внутрішнього тертя при малих амплітудах деформації. На кривих АЗВТ практично відсутня критична амплітуда, що свідчить про рівномірний розподіл напружень і дефектів в даному типі ПКМ на значній ділянці амплітуд деформації.

Введення в матрицю композиту високомодульних дрібнодисперсних добавок з частинок мулліту призвело до зменшення фону внутрішнього тертя, що свідчить про більший вплив матриці полімерного композиту на розсіювання механічної енергії. Частинки мулліту зміцнили полімер, зменшуючи при цьому величину розсіювання ним механічної енергії, що і підтверджується експериментально

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки: встановлено непрямими методами різний характер розсіювання механічної енергії полімерними композитами на основі вуглецевих, скляних і базальтових волокон. Змінюючи структуру композиту і його будову, тобто кількість армуючих волокон і їх розташування відносно поздовжньої осі, можна змінювати не тільки міцність, демпфуючі властивості деталей, а також величину основних гармонік коливань. Це дає змогу уникнути наявності резонансних частот при експлуатації виробів із даних полімерних композитів.

Список використаних джерел

1. Перепелкин К.Е. Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства // Химические волокна. Ч.1. - № 4, 2005. – С. 7 – 22; Ч.2. - №5, 2005. – С. 54-69; Ч3. - № 1, 2006. – С. 41-50.
2. Marsh G. Reinforced plastics transform small wind market// Reinforrced Plastics, Vol. 48, I. 1, Jan. 2004. – P. 22-26.
3. Вишняков Л.Р., Синайский Б.Н., Яременко О.П., Петропольский В.С., Демиденко З.Н. Полименые гибридно-армированные композиты для лопастей малые ветродвигателей // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - №2, 2009. – С. 41- 45.
4. Вишняков Л.Р., Мороз В.П., Синайский Б.Н., Яременко О.П., Байдала Э.С. Структура и некоторые свойства оксидных кристаллов на основе муллита и армированных ими композитов с алюминиевой матрицей // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении.–2006, №2.– С. 27-31.

УДК 620.174.25

А.В. Тітов, Т.Р. Гараненко, А.В. Кліско, В.О. Корева
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, e-mail: tetiana.garanenko@gmail.com

ПОБУДОВА ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ВІД ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ НА ОСНОВІ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗГИН ДЛЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ6

Актуальною задачею є розробка методу, який можна ефективно використовувати для дослідження механічних властивостей важкодеформуємих та малопластичних матеріалів.

Метою роботи є реалізація експериментально-аналітичного методу побудови кривих деформування за результатами досліджень на згин, який може бути використаний для важкодеформуємих та малопластичних матеріалів [1, 2].

Докладно методика проведення експериментальних досліджень на згин описана у роботах [1, 2]. Але в даному випадку була прийнята модель матеріалу без врахування деформацій [3]:

$$\sigma = K\varepsilon^m, \tag{1}$$

де ε - інтенсивність швидкостей деформування, m - коефіцієнт швидкісного зміцнення, K - лінійний коефіцієнт.

Для побудови в'язкопластичної моделі матеріалу була прийнята аналітична залежність, яка виражена степеневою функцією. Для апроксимації кривої деформування використовували ірраціональний многочлен восьмого ступеня у вигляді:

$$\sigma_i = A\varepsilon_i + B\varepsilon_i^{1/2} + C\varepsilon_i^{1/4} + D\varepsilon_i^{1/8}, \tag{2}$$

де A, B, C, D - константи апроксимації.

Для визначення розрахункових величин (2) були проведені дослідження оболонки одинарної кривизни в умовах чистого згину в ізотермічних умовах. При дослідженні чистого згину основною задачею являється визначення залежності внутрішнього та зовнішнього радіусу прогину, від моменту внутрішніх сил для кожного відрізку часу. Це дає можливість скласти та вирішити систему з чотирьох лінійних рівнянь відносно коефіцієнтів апроксимації.

Схема дослідження матеріалу ВТ6 на згин наведена на рис. 1. Для випробувань на чистий згин були використані зразки прямокутного перерізу 210×60 мм з листового титанового сплаву ВТ6 товщиною 1,5мм.

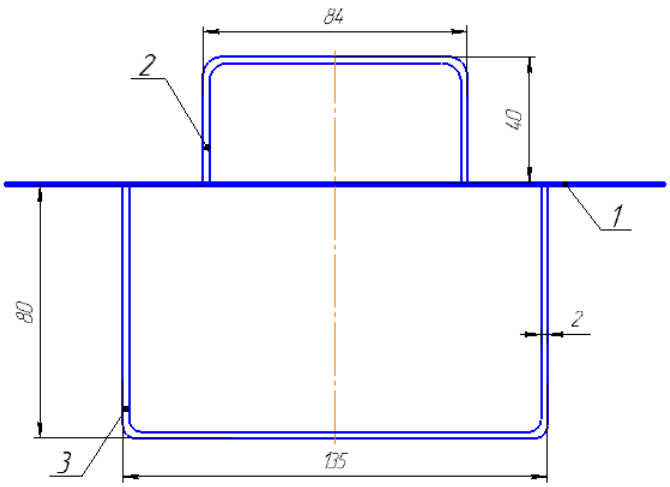


Рис. 1. Схема випробувань на згин: 1 – заготовка, 2 – прижим, 3- нижня опора

Заготовку 1 встановлювали на опору 3 і притискачем 2 забезпечували деформування зразка (рис. 1). Ширина опори 100 мм. Опора та прижим виготовлені з нержавіючої сталі. Нагрівальним устаткуванням була електрична муфельна піч СНОЛ30/1300. Температура постійна.

В результаті проведених розрахунків отримали залежність напруження від швидкості деформації (рис. 2).

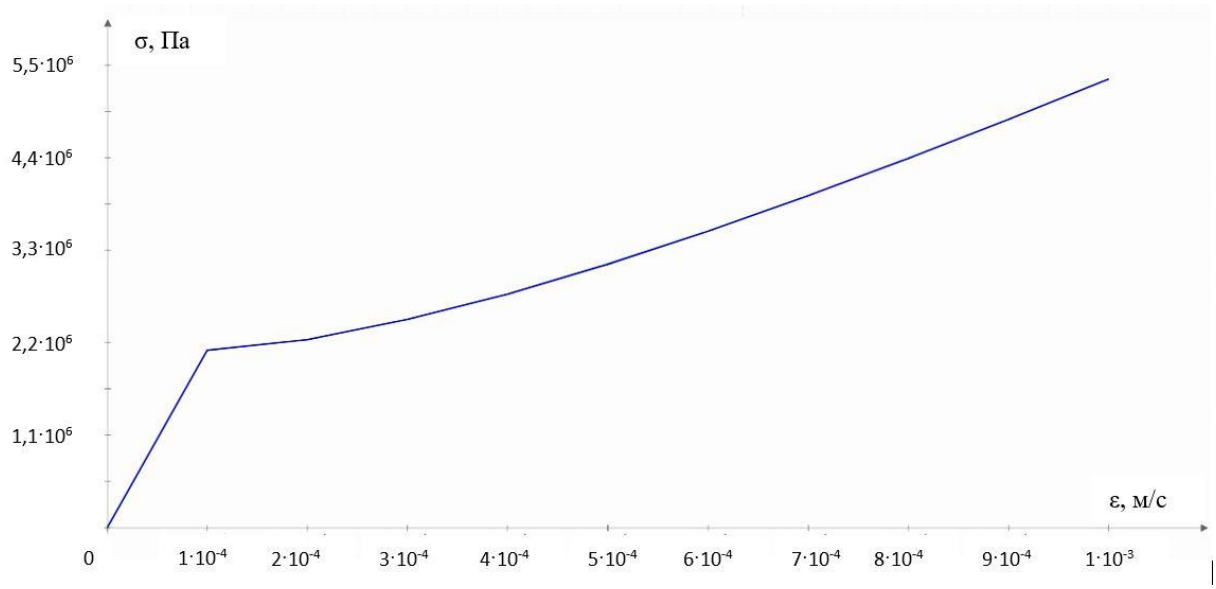


Рис. 2. Графік залежності напружень від швидкості деформації

ВИСНОВКИ

Розроблено метод побудови в'язкопластичної моделі металів для ізотермічних умов при випробуваннях на згин. Даний метод доцільно використовувати як для гомогенних, так і для важкодеформованих матеріалів з обмеженою пластичністю. Теоретично визначена система рівнянь для знаходження коефіцієнтів апроксимації кривої деформування. Отримані криві деформування матеріалу використовуємо для різних операцій формоутворення, ґрунтуючись на гіпотезі про єдину криву.

Рішення задачі полягало в теоретичному визначенні системи рівнянь для знаходження коефіцієнтів апроксимації кривої деформування. Алгоритм находження кривих деформування на основі випробувань на згин складається з наступних етапів: визначення моделі матеріалу; визначання компонентів тензора швидкостей деформації; визначення виду апроксимації кривої деформування; теоретичне знаходження системи рівнянь для находження коефіцієнтів апроксимації кривих деформування; експериментальне визначення моменту оболонки одинарної кривизни в умовах чистого згину в ізотермічних умовах.

Список використаних джерел:

1. Титов В. А. Метод экспериментально-аналитического построения кривых деформирования материалов при испитании на изгиб. Сообщение 1/ В.А. Титов, Т. Р. Гараненко // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2015. – № 2 (41). – С. 74–81.
2. Титов В. А. Метод экспериментально-аналитического построения кривых деформирования материалов при испитании на изгиб. Сообщение 2/ В.А. Титов, Т. Р. Гараненко // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 45–51.
3. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением / В.А. Евстратов. – Харьков: Высшая школа, 1981. – 248 с.

УДК 621.7.01

Є.Е. Бергер
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАСТИЛ ПІД ЧАС ВОЛОЧІННЯ

Однією із основних характеристик технологічності мастильно-охолоджувальних технологічних засобів (МОТЗ) є їх рівень корозійної активності по відношенню до оброблюваного металу, обладнанню та інструменту. Тому необхідно було провести випробування запропонованого складу МОТЗ на його корозійну активність і, якщо вона висока, довести склад до дозволених значень можливої корозії.

Вивчення можливості застосування в якості компонентів технологічних мастил (ТМ) вторинного поліетилену (ВПЕ) і розробка на цій основі нових ефективних ТМ є важливим і своєчасним завданням.

Залежно від фізико-хімічних властивостей деформованого металу і режиму обробки у вітчизняному виробництві використовують легкі (И-54, И-8А - в'язкість 3,5-10 мм^2/с при 50°С), середні (И-12А, И-20А, И-30А та ін. - в'язкість 10-58 мм^2/с при 50°С) і важкі (циліндрові - легке і важке, прокатні П-28 і П-40 - в'язкість 11-96 мм^2/с при 100°С) мінеральні мастила [1]. Але ці технологічні мастила (ТМ) не задовольняють безперервно зростаючим вимогам, пред'явленим до них промисловістю. Одна з головних причин полягає в тому, що знижуючи рівень вільної поверхневої енергії металу і, тим самим, полегшуючи процес деформування в результаті фізичної адсорбції, активні присадки не можуть нескінченно знижувати енергетичні витрати на процес обробки тиском. Ефективність обмежена самою природою фізичного зв'язку «адсобрент-адсорбат» [2].

Спроби створення більш ефективних ТМ обмежені можливістю зниження рівня поверхневої енергії металів під дією поверхнево-активних речовин (ПАР), введення інших нових протизадирних та протизношувальних присадок принципово не змінює ефективності ТМ. Значно більший ефект в зниженні силових параметрів обробки металів тиском може бути досягнутий при хімічній взаємодії активних добавок з оброблюваних металом. Важливо при цьому зазначити, що активність добавок повинна виявлятися тільки в робочій зоні, а поза нею повинна бути хімічно інертною. Як показали дослідження, такими властивостями володіють високомолекулярні сполуки. Досліди показали, що введення полімеру в технологічне мастило знижує зусилля витяжки [2]. Причому зі збільшенням концентрації полімеру в мастилі збільшується її ефективність. Оптимальна концентрація полімеру (в даному випадку, поліетилену) в мастилі И-12А для розглянутого випадку, приблизно, дорівнює 2-3% мас. Зниження зусилля витяжки під впливом полімерної присадки так само, як і при різанні, пов'язано з впливом продуктів термодеструкції на процес пластичного деформування. Тут необхідно підкреслити спільність механізму впливу високомолекулярних сполук, що деструктують, на процес пластичного деформування і коефіцієнт тертя, хоча специфіка механічної обробки, її вид безумовно накладає свій відбиток на кінцевий результат.

Дослідження проводилися з ВПЕ двох видів: відходи парникової плівки з показниками плинності розплаву (ПТР) – 6,4 г/10 хв і відходи мішків з-під мінеральних добрив з ПТР – 7,6 г/10 хв, з розчиненням їх в олії індустріальній И-12А при температурі 120...130°С.

Отримані мастила можна ефективно використовувати в процесах пластичного деформування металів, а також вирішувати завдання утилізації відходів. Оскільки в зоні деформування виникають високі температури, то і мастило адсорбоване на металі піддається впливу високих температур і тисків і впливає на процес тертя і пластичну деформацію металу.

Застосування мастил на основі ВПЕ для волочіння дроту діаметром 0,3мм зі сталі Х18Н9Т дозволило знизити зусилля волочіння до 35%, в 2-3 рази збільшити швидкість волочіння, в два рази збільшити стійкість алмазних волок.

Однак присутність полімерів в технологічних мастилах, використовуваних при обробці металів тиском, впливає на корозійну стійкість деформованого металу. Відомо, що для МОТЗ найбільш ефективним і технологічним захистом від корозії є інгібіторний захист. Тому були проведені дослідження по підбору інгібіторів корозії. У зв'язку з тим, що pH технологічного мастила змінюється від 6,2 до 6,5, то до складу мастила вводили такі інгібітори, які підвищували б pH середовища до нейтрального або слаболужного (pH = 8) - кальціновану соду, нітрат натрію, біхромат калію і триетаноламін).

В якості інгібітора корозії випробовувалися фосфати, нітрати, хромати і біхромати. Випробування корозійної стійкості проводилось відповідно до ГОСТ 6243-85. Перевірявся вплив концентрації інгібиторів, які додавалися до складу МОТЗ (97% води + 1,5%ПВХ + 1,5% ПАВ; pH композиції = 8), на корозійну стійкість сталі. Результати дослідів наведені у табл.1.

Виходячи із отриманих результатів, можна рекомендувати в якості добавки до МОТЗ, яка захищає метал від корозії, нітрат натрію в концентрації 0,1%.

Таблиця 1

Вплив концентрації інгібіторів в МОТЗ на корозійну стійкість сталі

Інгібітор корозії	Концентрація %					
	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0
Na_3PO_4	-	-	-	-	+	+
$K_2Cr_2O_7$	-	-	-	+	+	+
K_2CrO_4	-	-	-	+	+	+
$NaNO_2$	+	+	+	-	+	+
$NaNO_3$	+	+	+	-	+	+

Примітка: - не витримує (поява корозії)
+ витримує (відсутність корозії)

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Застосування мастил на основі (ВПЕ) для волочіння дозволило знизити зусилля волочіння до 35%, в 2-3 рази збільшити швидкість волочіння, в два рази збільшити стійкість алмазних волок;
2. Отримані мастила на основі вторинного поліетилену можна ефективно використовувати в процесах пластичного деформування металів, а також вирішувати питання утилізації відходів;
3. Найбільш ефективним і технологічним захистом від корозії є інгібіторний захист, для якого можно порекомендувати нітрат натрію в концентрації 0,1%.

Список використаних джерел

1. Технологические смазки для обработки металлов давлением / Под ред. М.С. Пасечкина. - К.: Знание, 1999. - 43 с.
2. А.И. Сошко, В.А.Сошко. Смазочно-охлаждающие технологические средства в механической обработке металлов. ч.I, II. – Херсон.: Олди-плюс.- 2008. - 388 с.

УДК 621.735.3

О. Є. Марков, О. В. Герасименко, А. С. Хващинський
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, e-mail: mto@dgma.donetsk.ua

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОФІЛЬОВАННЯ ТА ОСАДЖЕННЯ ЗАГОТОВОК

Не вирішеними на сьогодні залишаються питання удосконалення техпроцесів кування виробів відповідального призначення, що дозволило б підвищити якість продукції що випускається. На виробництві використовується процес осадження заготовок, які мають циліндричну форму. Цей процес характеризується несприятливим напруженим (НС) у металі заготовки під час осадження, що призводить до появи внутрішніх розривів та тріщин. Альтернативою осадження заготовок циліндричної форми є попереднє формування на заготовці виступів [1, 2]. Зміна поперечного переріза заготовки за рахунок формування виступів дозволить змінити НС металу при осаджені. Виступи заготовки будуть забезпечувати підпір металу при деформації, що буде сприяти зменшенню рівня середніх напружень що розтягують у металі заготовки. Це дозволить виключити тріщиноутворення та зменшити відсоток браку. Для цього необхідно провести дослідження, які дозволять встановити ефективний профіль заготовки з виступами, що буде сприяти закриттю осьової пористості зливків.

Метою роботи є розробка способу та технологічних рекомендацій, що будуть сприяти закриттю осьової пористості на основі застосування осадження профільованих злитків, що дозволить підвищити якість крупних заготовок та автоматизувати процес профілювання злитків.

Теоретичний аналіз осадження профільованих злитків проводився на основі скінчено-елементного моделювання. Результатами розрахунків є розподіл напружень, а також зміна форми й розмірів осьової пористості при осаджені. Величина обтискання при осаджені становила 50 %. Вихідна заготовка мала наступні параметри: зовнішній діаметр 1,5 м та висоту 3,75 м. Діаметр осьової пористості становив 0,1 від діаметру виступів заготовки (рис. 1).

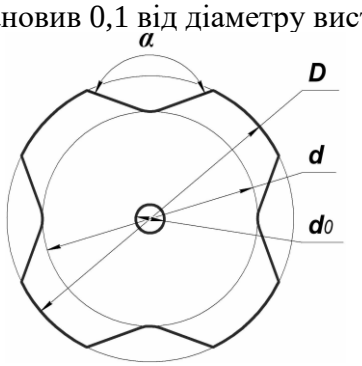


Рис. 1. Поперечний переріз чотирипроменевої заготовки

Заготовка мала виступи з ухилом в 115°. Відносна висота виступів (*d/D*) змінювалась в інтервалі 0,75; 0,80; 0,85. Матеріал моделі –34ХН, температура деформування складала 1180 ºС, швидкість руху осадочних плит 35 мм/с.

Запропонована методика неруйнівного виміру розмірів осьової пористості для встановлення впливу осадження профільованих злитків на закриття осьової пористості. Методика передбачала свердління отвору діаметром 0,1 від діаметру виступів заготовки. Отриманий отвір був з’єднаний за допомогою гнучкої трубки з волюметром. Зміна розмірів осьової пористості при осаджені призводить до зміни об’єму рідини. Діаметр свинцевих та сталевих моделей становив 50 мм, осьовий отвір мав діаметр 5 мм. Верифікація результатів закриття осьової пористості на свинцевих моделях проводилась експериментальними дослідженнями на сталі 34ХН. Осьова пористість моделювалася штучним дефектом діаметром 4 мм.

Для кількісної оцінки ступеня закриття осьової пористості були розраховані дані по зміні

величини відносного діаметра осьової пористості від величини обтискання. Загальна закономірність отриманих результатів моделювання для різних перерізів заготовок: закриття осьової пористості відбувається після осадження на 15 %; інтенсивність зменшення розмірів осьової пористості для різних заготовок відрізняється максимум на 10 %. Заготовки з відносною висотою виступів 0,85 при ступені деформації 40 % мають найменше значення відносної осьової пористості, d_1/d_0 становить 0,6. Рекомендована величина обтискання, яка буде забезпечувати закриття осьової пористості, повинна бути більше 50 %. Залежність зміни розмірів і форми осьової пористості при осадженні профільованих злитків з різною висотою виступів представлені на рисунку 2.

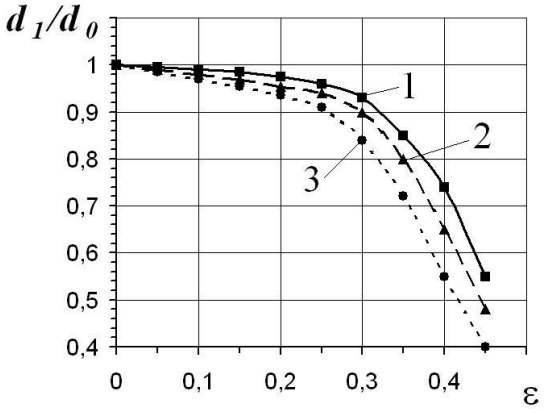


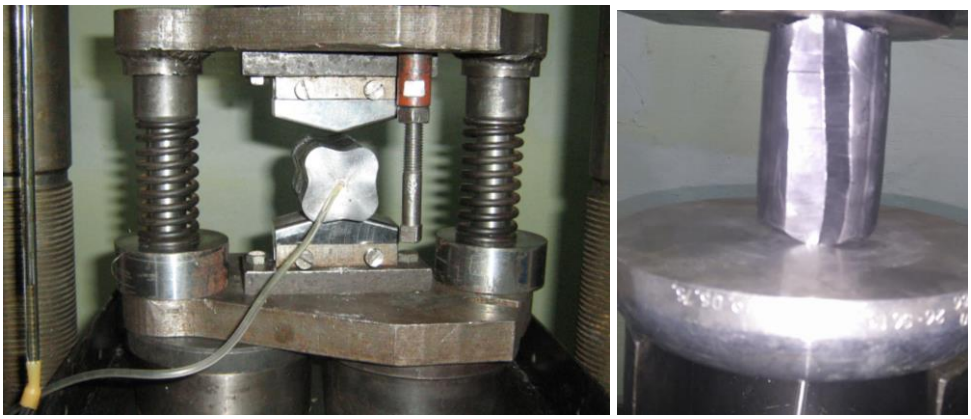
Рис. 2. Зміна відносного діаметру осьової пористості залежно від величини обтискання для різних відносних висот виступів: 1 – 0,75; 2 – 0,80; 3 – 0,85

Аналізуючи результати осадження профільованих злитків було визначено, що для усіх досліджуваних варіантів спостерігається закриття осьової пористості на середині висоти заготовки. Кількісне порівняння величини закриття осьової пористості при осаджені заготовок на 50 % з різною висотою виступів представлено на рис. 2. Діаметр осьової пористості, розрахований через його об'єм і висоту осадженої заготовки, залежить від висоти виступів заготовки. Інтенсивність закриття осьової пористості (рис. 2) вище при осаджені заготовок із відносною висотою виступів 0,85. Висота виступів більше 20 % не призводить до зменшення розмірів осьової пористості при осадженні. Для кута виступів 115° зі збільшенням їх висоти ступінь закриття осьової пористості збільшується. Деформування профільованих злитків призводить до змінення НС заготовки. Максимальні стискаючі напруження утворюються у місці осьової пористості для висоти виступів 15 %. Збільшення висоти виступів призводить до зниження величини й площі стискаючих напружень. Змодельовані способи осадження характеризуються наявністю стискаючих напружень в середній частині поковки.

Аналіз змінення розмірів пористості дозволив визначити, що максимальне закриття відбувається при осадженні заготовок з відносною висотою виступів 0,85. Такі результати можна пояснити розподілом напружень в центрі заготовки під час деформування. Загальною характеристикою осадження профільованих злитків є збільшення величини стискаючих напружень в середній частині поковки при підвищенні величини обтискання. Заготовка з відносною висотою виступів 0,85 має високу величину напружень що стискають при деформації 50%. Свинцева профільована та осаджена заготовка з підключеним шлангом для вимірювання кількості витисненої води наведена на рисунку 3.

Встановлені залежності дозволили визначити, що закриття осьової пористості при осадженні профільованих злитків проходить при обтисканні більш 25 %. Після деформування на 60 % діаметр осьової пористості зменшується на 70 %. Встановлені результати збігаються з даними, отриманими при теоретичному дослідженні. Результати з формозмінення й зменшення розмірів осьової пористості на свинцевих зразках перевірялися експериментом на сталі. Нагріті заготовки профілювали випуклим інструментом з кутом 115 ° з величиною обтискання за два проходи 20 %. По закінченню профілювання відбувалося осадження на половину висоти заготовки. Після підготовки площини розрізу проводився макроструктурний аналіз слідів осьової пористості. Деформування чотирипроменевих заготовок бойками з кутом 115 ° та величиною обтискання 20 % дозволило визначити величину закриття осьової пористості.

Встановлені результати дозволили визначити, що для досліджуваного способу після деформування проходить неповне закриття осьової пористості.



а б

Рис. 3. Експериментальні дослідження: *а* –профілювання заготовки; б –осадження профільованої моделі

Отримані результати перевірялися у виробничих умовах при осадженні злитків вагою 35 т (рис. 4). Відмінність запропонованого техпроцесу полягає у використанні профілювання заготовки випуклим бойком на плоскій плиті зі ступенем обтискання 20 %. Після осадження на заготовці відсутня діжкоподібність, що підтверджує змінення НС, що сприяє збільшенню величини напружень що стискають. Як результат – не виникає утворення тріщин при осадженні. Заготовки проходили УЗК.

Рис. 4. Апробація запропонованого осадження профільованих злитків

Основна частина першої деталі не має дефектів з розмірами більш ніж 2 мм. УЗК другої деталі, має схожі результати. В центральній частині деталі залишаються одиночні дефекти з розмірами не більш 4…6 мм, що нижче висуваємих вимог.

Висновки. Осьовий дефект при осаджені інтенсивніше закривається при відносній висоті виступів у діапазоні 0,8…0,85. Такі геометричні параметри можуть бути рекомендовані як ефективні з погляду підвищення якості осьової частини поковки в процесі осадження. Рекомендована величина обтискання, при якій проходить зменшення розмірів осьової пористості, складає більш за 50 %. Були розроблені й апробовані на виробництві нові техпроцеси виготовлення крупних заготовок із використанням операції осадження профільованих злитків.

Список використаних джерел

1. Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects. J. Mater. Proc. Technol., 177 (2006), pp. 238–242.
2. Scarabello D., Ghiotti A., Bruschi S. FE modelling of large ingot hot forging. Int. J. of Mater. Form., 3 (2010), pp. 335-338.

УДК 621.7.043

Р.Г. Пузир[1], Р.Г. Аргат[1], Р.А. Вакуленко[1], О.М. Кузьміна[2], О.О. Пєдун[1]
1 – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук
2 – Національна металургійна академія України, м. Дніпро

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗАГОТОВКИ, ЩО УСУВАЄ ВТРАТУ СТІЙКОСТІ ФЛАНЦЯ ПРИ ВИТЯГУВАННІ

Витягування без притиску фланця є достатньо економічним способом одержання циліндричних виробів. Але при цьому не вистачає інформації щодо впливу різних чинників на втрату стійкості фланця і рекомендовані інтервали витягування.

Як показали раніше проведені теоретичні дослідження, залежність [1, 2] досить точно описує вплив основних параметрів витягування та механічних характеристик металу на товщину вихідної заготовки для витягування без притискання фланця

$$h^2 = 0{,}0045 r_н^2 \frac{2+R_0}{1+R_0}\left(1-\frac{r}{r_н}\right)\sqrt{\frac{2(1+R_0)}{1+2R_0}}\, ln\frac{r_н}{r}, \qquad (1)$$

де R_0 – коефіцієнт анізотропії; $r_н$ – зовнішній радіус заготовки, r – радіус готової деталі.

Для перевірки цієї залежності були поставлені і проведені експериментальні дослідження на розривній машині УМЕ-10ТМ зусиллям 10 тон. Дослідам піддавалися партії заготовок зі сталі 08 кп товщиною 1,4, 1,2 і 1,0 мм; алюмінію А2 – 1,4, 1,2, 1,0 мм і міді М4 – 1,4, 1,2, 1,0 мм. На рис. 1 показано оснащення для проведення експерименту, а на рис. 2 – деякі напівфабрикати після деформування. Для кожного випробовуваного металу певної товщини розраховувалися граничні діаметри заготовок за залежністю (1) і приймалися для досліду, як основний нульовий рівень. Оскільки рівняння (1) представлено функцією першого ступеня, то у цьому дослідженні використовувалися плани першого порядку з дворівневим варіюванням чинників, які мають на увазі відшукання рівняння регресії, що містить тільки перші ступеня чинників і їх добутки.

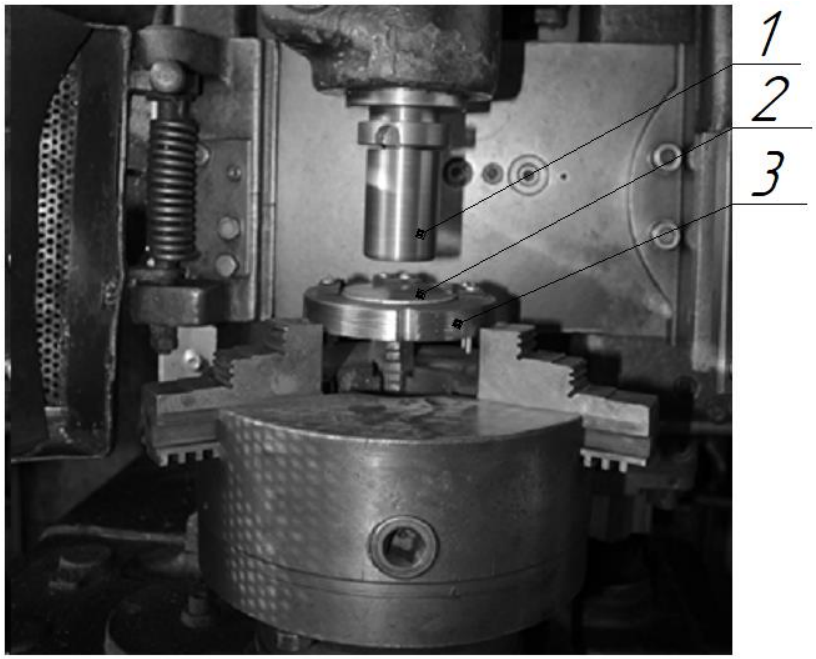


Рис. 1. Оснащення для витягування без притискання фланця: 1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – матриця

У якості відгуку в даному експерименті брали кількість гофрів *z*, що виникають під час втрати стійкості фланцевої частини заготовки.

Встановлювали однаковий для всіх заготовок хід пуансона, рівний $h = r_n + r_m = 5 + 4 = 9\ мм$, який фіксувався по відліку переміщення розривної машини. До числа чинників, які впливають на втрату стійкості у вигляді гофроутворення, ставилися радіус і товщина заготовки, а також коефіцієнт анізотропії R_0.

а) б) в)

Рис. 2. Напівфабрикати після вдавлювання пуансона в заготовку: а) – стальна заготовка (08 кп) Dз=80 мм, h=1 мм; б) – алюмінієва заготовка (А2) Dз=100 мм, h=1,4 мм; в) – мідна заготовка (М4) Dз=60 мм, h=0,6 мм

Для зменшення обсягу даних експерименту проводили дробовий факторний експеримент (ДФЕ) типу 2^{k-P}. Водночас встановлювалися ортогональні рототабельні плани з рандомізацією послідовності проведення дослідів у разі паралельного їх повторення *m=4* рази. Це дало можливість зменшити кількість обчислень і похибку оцінки істинного значення відгуку в $\sqrt{m}$ раз [3]. Закодоване позначення чинників наступне: X_1 – товщина заготовки, мм; X_2 – радіус заготовки, мм; X_3 – коефіцієнт анізотропії. Реалізація повного факторного експерименту (ПФЕ) зажадала б постановки 2^3=8 дослідів. З урахуванням паралельних повторів їх кількість збільшилася б до 8×4=32.

Припускали, що ефекти взаємодії чинників під час витягування заготовки малоймовірні і дуже малі. Користувалися ½ реплікою ПФЕ, тобто ДФЕ типу 2^{3-1}, де формально один фактор замінений відповідним добутком інших чинників ($X_3=X_1X_2$). Це дозволило скоротити загальну кількість дослідів до 2^2×4=16. Рівні варіювання чинників представлені в таблиці 1. Вибирати інтервал варіювання для показника анізотропії в експерименті було можливо за рахунок підбору різних металів і округлення коефіцієнтів анізотропії за довідковими даними [4 – 7].

Матриця планування експерименту представлена в таблиці 2, де наведені також результати вимірювань відгуку y_i, його середнє значення $\bar{y}_i$, а також порядкова дисперсія S_i^2.

Таблиця 1

Рівні варіювання чинників під час витягування заготовок

Рівні чинників	Чинники		
	X_1, мм	X_2, мм	X_3
Нульовий	1,0	40	0,9
Нижній	0,6	30	0,5
Верхній	1,4	50	1,7
Інтервал варіювання	0,4	10	0,4

Таблиця 2

Матриця планування експерименту з чотирма паралельними дослідами

Кодовані значення чинників				Змінна експерименту, відгук					Порядкова дисперсія, S_i^2
				1	2	3	4	Середнє	
X_0	X_1	X_2	X_3	y_1	y_2	y_3	y_4	$\bar{y}_i$	
1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
1	-1	1	-1	8	8	7	8	7,75	0,25
1	1	1	1	4	5	5	4	4,5	0,33
Σ				12	13	12	12	12	0,58

Обчислювали коефіцієнти рівняння регресії і проводили перевірку їх значущості. Попередньо визначали дисперсію відтворюваності (помилку експерименту). Зіставлення коефіцієнтів моделі з отриманим інтервалом показало, що всі коефіцієнти значимі $|b_1| = 0{,}81 > 0{,}239$).

Остаточне рівняння регресії мало вигляд:

$$y = 3{,}06(1 + X_2) - 0{,}81(X_1 + X_3). \quad (2)$$

Перевірка адекватності моделі виконувалася за допомогою критерія Фішера, і показала, що модель адекватна.

Перехід від кодованих чинників до натуральних дав змогу отримати остаточний вираз регресії:

$$z = 0{,}3r_н - 2(h + R_0) - 5. \quad (3)$$

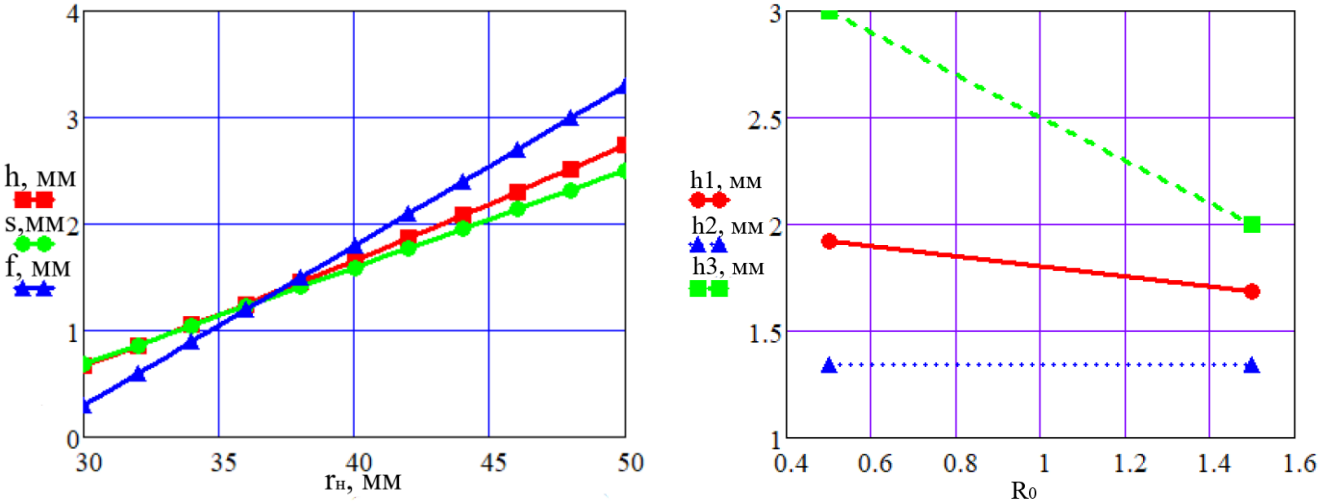
Отже, отримана формальна залежність, за допомогою якої є можливість прогнозувати кількість виникаючих гофрів при витягуванні без притискання фланця заготовки в діапазоні вхідних параметрів: $30 \le r_н \le 50$; $0{,}6 \le h \le 1{,}4$; $0{,}5 \le R_0 \le 1{,}7$. Аналізуючи цей вираз можна зробити висновок, що суттєвий вплив на втрату стійкості фланця під час витягування в цьому інтервалі розмірів має радіус заготовки, оскільки сума, що стоїть у дужках менша останнього на порядок. Однак, незважаючи на це, варіювання товщиною заготовки і коефіцієнтом анізотропії дозволяє домогтися витягування без утворення складок при незмінному початковому діаметрі заготовки. При збільшенні товщини заготовки і анізотропії схильність до гофроутворення фланця зменшується, а з ростом розмірів початкової окружності – збільшується. Отримана залежність дозволяє розрахувати будь-який параметр витягування, що входить в формулу, який може усунути втрату стійкості при заданих інших. Для цього потрібно прирівняти нулю кількість можливих складок і від сюди виразити шуканий фактор. Так, наприклад, для товщини заготовки матимемо:

$$h = 0{,}15r_н - R_0 - 2{,}5. \quad (4)$$

Інтерес представляє порівняння залежностей (4) і (1). На графіках (рис. 3, а, б) представлені розподіл товщин заготовки в залежності від початкового діаметру при незмінних анізотропії і коефіцієнта витягування, а також під час зміни коефіцієнта анізотропії, радіус готової деталі $r = 25$ *мм*.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок (рис. 3, а), що зростання товщини заготовки найбільше за рівнянням (4), але значення цього параметра несуттєво відрізняються від результатів, отриманих за аналітичною залежністю (1), що підтверджує адекватність самого співвідношення (1). У разі наближення прямих до радіуса

заготовки 40 мм вони починають розходитися, але результати залишаються практично однаковими. Найбільша розбіжність графіків спостерігається між експериментом та емпіричною умовою стійкості в області кінця інтервалу дослідження і становить близько 20 %. Вочевидь, це пов'язано з недосконалістю постановки і проведення експерименту, впливом на відгук некерованих чинників, хоча відмінність не настільки критична і допускається в технічних розрахунках.



а) б)

Рис. 3. Зміна товщини заготовки в залежності від радіуса матриці та коефіцієнта анізотропії: а) – залежність товщини від радіуса заготовки (h – товщина заготовки, розрахована за залежністю (1); s – товщина заготовки, розрахована за формулою Шофмана Л. І. [8]; f – товщина заготовки, отримана за рівнянням регресії (4); б) – залежність товщини від зміни коефіцієнта анізотропії (h1 – за залежністю (1); h2 – за залежністю (1) без урахування анізотропії; h3 – за рівнянням регресії (4)

За нахилом прямих (рис. 3, б) очевидний вплив анізотропії металу заготовки на товщину вихідної пластини. Загалом анізотропія негативно відбивається на процесі витягування, для забезпечення стійкості фланця необхідно збільшувати товщину заготовки.

Список використаних джерел

1. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г. Определение геометрических параметров листовой заготовки для вытяжки осесимметричных деталей, устраняющих потерю устойчивости фланца // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – 2 (35). – С. 118–123.
2. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г. Анализ условий формоизменения относительно толстолистовых заготовок с целью расширения возможностей процесса деформирования // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – 46 (953). – С. 13–18.
3. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений : справочное пособие / Касаткин Б. С. и др. – К. : «Наукова думка», 1981. – 584 с.
4. Тітов В. А., Лабур Т. М., Борис Р. С. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням // Технологические системы. – 2007. – №1. – С. 33–39.
5. Арышенский Ю. М., Гречников Ф. В. Теория и расчеты пластического формоизменения анизотропных материалов. – М. : Металлургия, 1990. – 304 с.
6. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г., Долгих О. Н. Оценка приемов, увеличивающих степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей без складкодержателя // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії». – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 36 (1258). – С. 5–9.
7. Sosenushkin E. N., Yanovskaya E. A., Sosenushkin A. E., Emel'yanov V. V. Mechanics of nonmonotonic plastic deformation // Russian Engineering Research. – 2015. – T. 35 (№ 12). – P. 902–906.
8. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1964. – 375 с.

УДК 621.771.23:681.5.015.2

О.Г. Курпе[1], В.В. Кухар[2]
1 – Метинвест Холдинг, 2 – Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь

ОЦІНКА ВПЛИВУ КОНВЕКЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІНУ В РОЗРАХУНКАХ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СМУГИ ПРИ ТЕРМОМЕХАНІЧНІЙ ПРОКАТЦІ

Сучасний рівень обчислювальної техніки дозволяє виконувати поглиблені дослідження процесів обробки металів тиском, методами математичного моделювання. Це дозволяє знаходити нові ланки для вивчення технологічних процесів, які раніше були недосяжні, впроваджувати нові превентивні методи керування ними [1-3].

Метою дослідження є оцінка впливу конвекції на розподіл температурного поля смуги по ширині яка виробляється по режимах гарячої та термомеханічної прокатки на ділянці між пічною моталкою та станом Стеккеля.

Відповідно до сучасного уявлення теорії теплопереносу, передача тепла від тіл які нагріті вище температури червоного світіння, відбувається головним чином випромінюванням. Вплив конвекційного механізму теплопередачі зі зниженням температури поверхні заготовки збільшується. Тому, при розрахунку, для умов термомеханічного процесу прокатки (ТМСР) на стані Стеккеля, враховували теплопередачу випромінюванням та конвекцією.

Відома математична модель зміни температурного поля нерівномірно нагрітої смуги що охолоджується [4], яка включає залежності для розрахунку температури довільного проміжного (і – го) прошарку заготовки, прошарку з максимальною теплоємністю та прошарку на кромці, доповнена врахуванням конвекційного теплового потоку, відповідно до закону Ньютона-Рихмана.

Додатково, вдосконалена модель включає залежності для розрахунку фізичних та теплофізичних властивостей (щільність, середня теплоємність, теплопровідність) низьковуглецевих марок сталі, які отримані шляхом обробки даних [5-7]. Ці марки є найбільш наближеними до марок що використовуються в технології ТМСР. Для розрахунку кожної з вказаних фізичних та теплофізичних властивостей розроблено по кілька залежностей для різних діапазонів температур, що забезпечило отримання коефіцієнту вірогідності апроксимації R^2 більш ніж 0,90.

Для оцінка впливу конвекції на розподіл температури по ширині смуги, на підставі вдосконаленої математичної моделі, виконано розрахунок для умов гарячої та термомеханічної прокатки. Для обох варіантів розрахунку використовували сталь марки Х65, відповідно до вимог стандарту API-5L, хімічний склад якої наведений в табл. 1. Вхідні дані, які були використані для розрахунків, наведені в табл. 2

Таблиця 1

Хімічний склад сталі що використовувалась в дослідженні

Марка сталі	Хімічний склад, %														
	C	Mn	Si	S	P	Al	Nb	V	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	N	B
Х65	0,09	1,4	0,23	0,002	0,011	0,036	0,03	0,066	0,02	0,02	0,03	0,01	0,015	0,007	0,0005

Таблиця 2

Дані що використані при розрахунках по різних технологія

Технологія	Товщина смуги, мм	Ширина смуги, мм	Температура після пічної моталки, °С	Час охолодження смуги, сек
Гаряча прокатка	40	1400	1100	140
ТМСР	40	1510	825	8

Результати оцінки впливу конвекції при моделюванні зміни температури смуги по двох технологіях прокатки наведені на рис. 1.

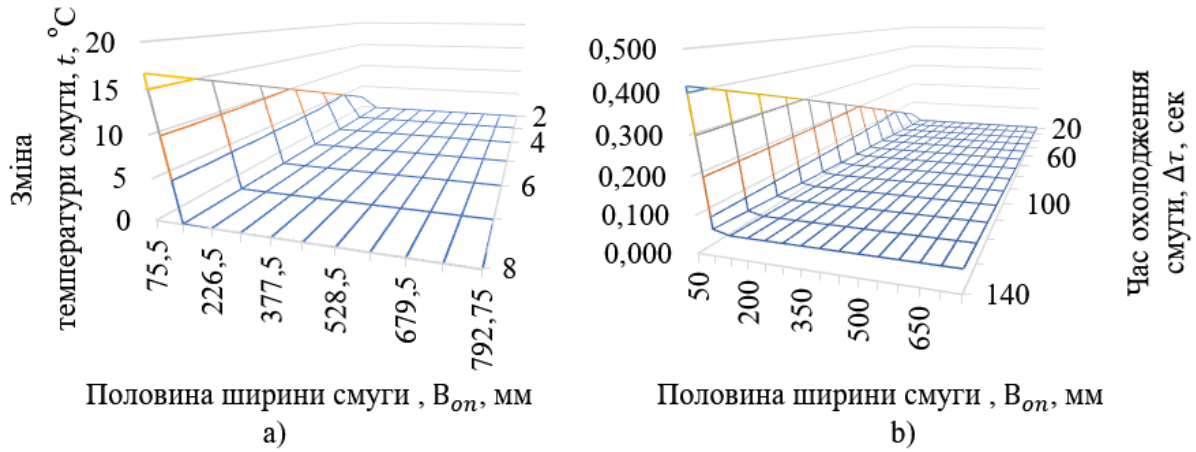


Рис. 1 – Результати оцінки впливу конвекції при моделюванні розподілу температури по ширині смуги по режимах ТМСР (a), та по режимах гарячої прокатки (b)

По результатах моделювання отримані наступні результати:

– при реалізації режимів ТМСР в діапазоні температур 800°С – 825°С, втрати тепла конвекцією на кромці смуги становлять 93%, тобто з загального зниження температури на кромці, яке становить 17,93°С, зниження за рахунок конвекції становить 16,72°С. Ближче до центру смуги вплив конвекції суттєво зменшується.

– при реалізації режимів гарячої прокатки в діапазоні температур 1050°С – 1100°С, втрати тепла конвекцією на кромці смуги становлять лише 1%, тобто з загального зниження температури на кромці, яке становить 41,69°С, зниження за рахунок конвекції становить лише 0,42°С.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Виконано оцінку впливу конвекції при моделюванні зміни розподілу температури смуги по ширині по режимах ТМСР, вплив конвекції становить 93%, та по режимах гарячої прокатки, вплив конвекції становить 1%.
2. Встановлено, що більш інтенсивне охолодження спостерігається на бокових кромках смуги.
3. Вдосконалену модель можливо використовувати для розрахунків зміни розподілу температури плоского прокату, який виробляється по режимах гарячої прокатки, термомеханічної прокатки та її різноманітних варіантів реалізації (високо температурної та низько температурної), а також нормалізуючої прокатки.

Список використаних джерел

1. Daniel Weisz-Patrault. Coupled heat conduction and multiphase change problem accounting for thermal contact resistance / Daniel Weisz-Patrault // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017. – P. 595–606, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.091.
2. Daniel Weisz-Patrault. Temperature and heat flux fast estimation during rolling process / Daniel Weisz-Patrault, Alain Ehrlacher, Nicolas Legrand // International Journal of Thermal Sciences, 2014. – P. 1–20, DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2013.07.010.
3. Daniel Weisz-Patrault. Inverse three-dimensional method for fast evaluation of temperature and heat flux fields during rolling process / Daniel Weisz-Patrault // Symposium on Modelling of Rolling Processes, 2012, France, P.20–22.
4. Кухарь В.В. Управление тепловым состоянием тонколистового проката для повышения равномерности распределения механических свойств / В.В. Кухарь, А.Г. Присяжный, Е.Ю. Балалаева, О.А. Тузенко, А.Г. Курпе, А.С. Анищенко, И.В. Кармазина. –Мариуполь: ПГТУ, 2018. – 144 с.
5. Тайц Н.Ю. Методические нагревательные печи / Н.Ю. Тайц, Ю.И. Розенгарт. – М.: Металлургиздат, 1964.
6. Расчет нагревательных и термических печей. Справичник. / Ред. Тымчака В.М., Гусовского В.Л. – М: Металлургия, 1983.
7. Казанцев Е.И. Промышленные печи / Е.И. Казанцев. – М.: Металлургия, 1975.

УДК 621.73.011.001.5

Р. І. Сивак
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ АНІЗОТРОПНО ЗМІЦНЮВАНОГО ТІЛА ПРИ НЕМОНОТОННІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

При оцінці граничного стану для опису процесів пластичного деформування матеріалу заготовки при немонотонному навантаженні можна застосувати математичну теорію пластичності О. А. Ільюшина [1] або модель анізотропно зміцнюваного тіла запропоновану Г. Бакхаузом [2]. Однак для вибору відповідної теорії пластичності необхідно попередньо з'ясувати область її застосування з урахуванням реального процесу навантаження. Границі цієї області можна визначити шляхом зіставлення результатів розрахунку і експерименту при складному навантаженні.

В даній роботі представлена оцінка точності розрахунків компонент девіатора напружень для траєкторії зі зломом по співвідношенням отриманим на основі моделі, запропонованої Г. Бакхаузом [2-6].

У роботах [5-6] отримані рівняння для розрахунку компонент девіатора напружень при немонотонному навантаженні на основі моделі Г. Бакхауза

$$S_{ij} = \frac{2}{3}\sigma_u(e_u)\frac{\dot{e}_{ij}}{\dot{\varepsilon}_u} - \frac{1}{3}\int_0^{e_u}\left(1-\beta\left(e_u^*\right)\right)\sigma_u\left(e_u^*\right)\varphi\left(e_u^* - e_u^0\right)\frac{d^2 e_{ij}}{de_u^2}\left(e_u^*\right)de_u^* . \quad (1)$$

Для визначення компонент девіатора напружень по (1) необхідно експериментально визначити три характеристики матеріалу: криву течії $\sigma_u(e_u)$, функцію $\beta(e_u)$, що характеризує вплив ефекту Баушингера, функцію $\varphi\left(e_u - e_u^0\right)$, що характеризує спадковий вплив історії навантаження, а також мати інформацію про кінематику процесу пластичної деформації. Компоненти тензора напружень можна визначити за відомою методикою [5, 7, 8].

При експериментальних дослідженнях вважали справедливою гіпотезу про те, що функції $\sigma_p(e_u)$, $\beta(e_u)$ і $\varphi\left(e_u - e_u^0\right)$ не залежать від схеми напруженого стану та історії деформування. У зв'язку з цим, зазначені характеристики немонотонного навантаження можна визначити в умовах лінійного напруженого стану [5, 6, 9].

Результати експериментальних досліджень показують, що параметр β сильно залежить від накопиченої деформації e_u при $e_u \le 0{,}05$, а при $e_u > 0{,}05$, цей параметр для більшості металів залишається практично постійним і приймає певне значення β_m [9]. Для сталі 10 цей параметр дорівнює $\beta_m = 0{,}34$. У зв'язку з цим можна розглядати β_m як механічну характеристику металів для оцінки схильності останніх до прояву деформаційної анізотропії [9]. Необхідно відзначити, що деформація $e_u \approx 0{,}05$ порівнянна з довжиною сліду запізнення скалярних властивостей матеріалу [1].

В роботі розглянуті дволанкові траєкторії в просторі вектора деформацій [4]. Траєкторії отримані в дослідах на розтяг з подальшим крученням ($\beta_1 = 90^0$) і дослідах на розтяг з подальшим спільним крученням і розтягом ($\beta_2 = 30^0$ і $\beta_3 = 60^0$). При цьому використовували стандартні суцільні циліндричні зразки зі сталі 10. Щоб уникнути локалізації пластичної деформації як при розтягу, так і при крученні ступінь деформації e_u не перевищувала значень $e_u \le 0{,}3$ при $\varepsilon_z \le 0{,}16$. Деформування здійснювали по програмам, які забезпечують лінійність траєкторій в просторі деформацій.

Повна осьова деформація

$$\varepsilon_z^{\Sigma} = \varepsilon_{z0} + \varepsilon_z ,$$

де $$\varepsilon_{z0} = \ln \frac{l_1}{l_0} \text{ і } \varepsilon_z = \ln \frac{l_2}{l_1} ,$$

l_0- початкова довжина робочої частини зразка,

l_1 - довжина робочої частини зразка перед зломом,

l_2 - довжина робочої частини зразка після злому.

Для реалізації необхідних траєкторій деформацій зразки розтягували до значень ε_z=0,04-0,10, а потім, не змінюючи осьової сили, зразки закручували. При цьому одночасно вимірювали величини осьового P і кутового M навантажень.

Розбіжності між значеннями S_z, розрахованими за формулою (1) після злому траєкторії деформації на кут $\beta_3=60^0$ і експериментальними, розрахованими за формулами

$$\sigma_z = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (2) \qquad \tau_{z\theta} = \frac{12M}{\pi d^3}, \quad (3) \qquad S_z = \frac{2}{3}\sigma_z. \quad (4)$$

не перевищували 20%, а при $\beta_2=30^0$ - розбіжності не перевищували 14%. Тобто можна вважати, що при $\beta_2 \le 30^0$ формула (1) задовільно описує ефекти запізнення, які мають місце при зломі траєкторії деформації.

Однак при куті злому $\beta_1=90^0$ розбіжність між експериментальними і розрахованими за формулою (1) значеннями складають 50% і більше.

Характер залежності осьового $\sigma_z(e_u)$ і дотичного $\tau_{z\theta}(e_u)$ напружень від ступеня деформації e_u практично не залежить як від величини деформації перед зломом (в межах досліджуваного інтервалу значень попереднього ступеня деформації e_u=0,04-0,10), так і від того, в якій послідовності злом реалізується. Тобто, на першому етапі проводиться деформація розтягу, а потім кручення або навпаки. Із співвідношення (1) випливає, що при зламі траєкторії деформації на кут $\beta_1=90^0$ компонента девіатора напружень S_z повинна дорівнювати нулю і напруження σ_z також має дорівнювати нулю. Однак цього при пластичній деформації не відбувається. Як випливає з експериментальних даних напруження σ_z повільно спадає зі збільшенням дотичного напруження $\tau_{z\theta}$. Необхідно відзначити, що при деформації в пружній області, σ_z після злому траєкторії деформації при постійній осьовій силі залишалася б також постійною.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки: при дослідженні процесів немонотонного навантаження, для яких характерні траєкторії великої кривизни (наприклад, мають місце зломи), необхідно використовувати теорію пластичності О. А. Ільюшина. Модель Г. Бакхауза можна використовувати для траєкторій середньої і малої кривизни. У загальному випадку складного навантаження придатність тієї чи іншої теорії пластичності необхідно визначати шляхом зіставлення результатів розрахунку з експериментальними результатами.

Список використаних джерел

1. Ильюшин А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М.: Издательство АН СССР. Отделение технических наук, 1963. – 272 с.
2. Backhaus G. Zur analytischen Darstellung des Materialverhaltens im plastischen Bereich / G. Backhaus // ZAMM. - 1971. - №51. - P. 471 - 477.
3. Сивак Р. И. Влияние немонотонности пластической деформации на напряженное состояние / Р. И. Сивак, О. В. Сердюк, И. О. Сивак // Обработка материалов давлением. – 2010. – №2(23). – С. 3-7.
4. Сивак Р. И. Оценка предельных деформаций при немонотонном нагружении / Р. И. Сивак, И. Г. Савчинский, И. О. Сивак // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». - 2011. - №62. – С. 247-250.
5. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. - М.: Машиностроение, 1978.- 174 с.
6. Хван Д. В. Исследование деформационной анизотропии металлов при немонотонном пластическом деформировании в условиях линейного напряжённого состояния / Д. В. Хван, О. А. Розенберг, Ю. А. Цеханов // Проблемы прочности. - 1990. - №12. – С. 53-56.
7. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. - Киев: Выща школа, 1983.-175 с.
8. Алиев И. С. Повышение качества процессов холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев, Л. И. Девиченко, К. Д. Махмудов // Повышение точности в холодноштамповочном производстве. - Л.: ЛДНТП, 1981. - С. 50-55.
9. Хван Д. В. Экспериментальная механика конечных деформаций / Д. В. Хван, Ф. Х. Томилов, В. И. Корольков. – Воронеж: Изд-во «ЭЛИСТ», 1996. – 248 с.

УДК 621.375.826:621

Л.Ф. Головко, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, С.С. Салій, І.В. Свічкар
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВАНИ РОЗПЛАВУ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОМУ МЕТОДІ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ

Все більші можливості реалізації новітніх технологій дає застосування біметалів. Біметали застосовуються в багатьох галузях промисловості: корозійностійкий біметал використовується для виготовлення корпусів нафтохімічного і атомно-енергетичного устаткування; антифрикційні біметали — при виготовленні підшипників ковзання; біметали з особливими властивостями — при виготовленні вузлів ракетно-космічної техніки. В останній час для отримання біметалів інтенсивні роботи ведуться при використанні лазерного променю у поєднанні з ливарним процесом.

Для реалізації лазерно-ливарної технології виробництва біметалів розроблена комбінована схема. Розв’язок теплової задачі числовими методами дозволив встановити вплив розподілу, густини потужності і швидкості руху лазерного променю на розміри ванни розплаву, що дає можливість подачі попередньо нагрітого металу для отримання спільної перехідної рідкої зони що гарантуватиме взаємне перемішування двох матеріалів з утворенням металургійного зв’язку. Подальше поступове контрольоване охолодження, з використанням допоміжного індукційного нагрівання, зменшить можливі деформації через зменшення залишкових напружень у перехідній зоні.

Результатом цих досліджень став комбінований послідовний процес лазерно-ливарного наплавлення з застосуванням допоміжного індукційного джерела, при цьому функції, послідовність та час дії джерел енергії чітко розмежовані. Зформований спеціально розробленою фокусуючою системою лазерний промінь розплавляє необхідно-заданий об’єм на поверхні матеріалу основи, формуючи необхідну зону для подачі розігрітого попередньо матеріалу. Одночасно з формуванням ванни розплаву на поверхні матеріалу основи, по жолобу починає рух розплавлений попередньо індукційним джерелом необхідний матеріал. Він подається у ванну створену лазерним променем, необхідна температура розплаву підтримується індукційним джерелом.

Основними перевагами даного процесу є універсальність, можливість ощадливого і раціонального використання дорогих і дефіцитних матеріалів, ресурсо - і енергозбереження, мінімальний вклад енергії в основу деталі, на яку проводиться наплавлення, екологічна чистота, можливість повної автоматизації. Можливість реалізувати одночасну, або послідовну, подачу кількох різних матеріалів для створення спеціальних багатошарових елементів деталей машин чи устаткування.

Для формування необхідного заданого розподілу лазерного променю на поверхні матеріалу основи було проаналізовано можливість використання як механічних скануючих систем, так й адаптивних комбінованих оптичних систем. Можливість автоматичної зміни параметрів лазерного променю адаптивними фокусуючими системами підчас роботи дає змогу контролювати розміри та геометрію створеної перехідної зони. Це зменшує витрати на обладнання при реалізації широкого діапазону товщин та геометрії біметалевих шарів з гарантованим металургійним зв’язком.

Таким чином, застосування адаптивного фокусуючого обладнання для лазерного нагрівання при лазерно-ливарному методі отримання біметалічних матеріалів цілком реалізовується технологічно і забезпечує надійне з'єднання між шарами матеріалів, які входять до складу різних біметалів, що дозволяє рекомендувати цей метод для подальшого доопрацювання і впровадження у виробництво.

Повідомляються результати теоретичного й експериментального вивчення механізму лазерно-ливарного наплавлення. Наведено дані про основні технологічні закономірності комбінованого процесу наплавлення, що відбивають зв'язок його основних факторів з вихідними параметрами.

УДК 004.942

О.В. Алтухов, О.Ф. Тарасов
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНТЕНСИВНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Процеси інтенсивного пластичного деформування (ІПД), як один із напрямів отримання об'ємних наноструктурованих матеріалів, викликають значний інтерес у дослідників і мають великі перспективи для впровадження в промислових масштабах. Однак існує ряд проблем, що стримують їх розвиток і більш широке використання. Високі навантаження на інструмент в процесі деформування обмежують використання даних методів для обробки чорних металів, також є істотні обмеження за розмірами оброблюваних заготовок. Технологічні особливості ІПД і складність автоматизації процесів не дозволяють застосовувати їх для обробки широкого кола заготовок. Досить висока собівартість обробки заготовок методами ІПД не дозволяє поки використовувати їх в машинобудуванні і обмежує область впровадження авіаційною промисловістю і медициною.

Великим стримуючим фактором у розвитку технологій ІПД є відсутність спеціалізованого програмного забезпечення для проектування і досліджень процесів ІПД. Створення нового програмного забезпечення або адаптація існуючого під специфіку багатоетапного процесу деформування є актуальним завданням, яке необхідно вирішити найближчим часом для забезпечення можливості швидкої розробки процесів ІПД.

Для проектування штампового оснащення процесів ІПД застосовують промислові CAD-системи DS SolidWorks, PTC Creo, Delcam PowerShape, Компас тощо. Для моделювання процесу деформування застосовуються CAE-системи, засновані на методі скінченних елементів: LS-DYNA, ABAQUS, Deform, QForm і ін. [1]. На даний момент зазначені CAD / CAE-системи не оптимізовані для розробки процесів ІПД і вимагають створення зовнішніх компонент для реалізації інструментів, необхідних для проведення повного циклу досліджень. Найбільш придатними є пакети компанії Dassault Systemes: CAD-система SolidWorks і CAE-система ABAQUS, які можуть бути інтегровані один з іншим і, крім цього, підтримують відкриті інтерфейси для можливості створення зовнішніх компонент. На основі SolidWorks і ABAQUS можлива розробка інтегрованої САПР процесів ІПД [2], при цьому можуть бути використані параметричні моделі процесів, що істотно скорочує час на проектування типових конструкцій зі зміною ряду технологічних параметрів та розмірів штампового оснащення. Підвищення ефективності проектування процесів ІПД може бути досягнуто за рахунок створення комплексної автоматизованої системи, що складається з набору програмних компонент, починаючи з вибору типу і маршруту технологічного процесу, проектування штампового оснащення, проведення досліджень напружено-деформованого стану (НДС) заготовки, аналізу їх результатів, пошуку оптимальних рішень і закінчуючи створенням готової технічної документації.

На кожному етапі проектування можливе використання сучасних методів автоматизації проектування на основі розвитку методів, моделей та інформаційних технологій, включаючи застосування штучного інтелекту при створенні САПР. Використання баз знань і експертних систем на основі онтологій знань про предметну область дає можливість пошуку нових технологічних схем при проектуванні процесів ІПД [3]. Особливу увагу слід приділяти моделюванню і передбаченню на цій основі поведінки металу в штампі. Для цього необхідна реалізація можливості урахування фізичних особливостей поведінки матеріалів в умовах деформування і застосування відповідних моделей. При цьому інтелектуальний аналіз даних можливо використовувати для дослідження НДС заготовки з метою виявлення нерівномірності розподілу деформацій в об'ємі заготовки [4]. Наприклад, методи оптимізації на основі генетичного алгоритму можуть бути використані для пошуку оптимальних технологічних

параметрів процесу і заготовки. Також перспективним є застосування методів структурної і параметричної оптимізації для спрощення процесу проектування штампового оснащення для реалізації ІПД у відповідності до характеристик міцності і пластичності матеріалів та геометричної форми заготовок, що проходять обробку [5, 6].

Авторами розробляється інтегрована САПР процесів ІПД, яка включає набір компонент, що забезпечують життєвий цикл по етапам проектування процесів ІПД [3]. Виконано проектування структури інтегрованої САПР починаючі з бази знань процесів ІПД, яка містить опис властивостей відомих процесів ІПД, що може бути використана для вибору найбільш відповідного процесу для отримання заготовки з заданими властивостями. Після вибору процесу виконується побудова проекту на основі параметричної моделі. Готовий проект, який містить геометричні моделі інструменту та заготовки, властивості їх матеріалів, параметри сітки скінченних елементів, взаємне положення у просторі, обмеження на рух, властивості контактної взаємодії та навантаження під час багатоетапного процесу деформування, передається у вигляді скрипту на мові програмування Python до CAE-системи ABAQUS, яка у фоновому режимі виконує моделювання. Після закінчення процесу моделювання інтегрована САПР отримує результати у вигляді набору параметрів напружено-деформованого стану заготовки та інструменту для кожного кроку розрахунку. Інший компонент інтегрованої САПР виконує аналіз розподілу деформації по об’єму заготовки та вносить зміни в параметри технологічного процесу й починає процес моделювання зі зміненими технологічними параметрами. Таким чином, процес моделювання повторюється декілька разів для отримання оптимального розподілу деформації. Розроблювана інтегрована САПР може бути застосована для проектування відомих процесів ІПД та орієнтована на фахівців з невисоким рівнем підготовки в області ІПД та їх проектування й моделювання засобами промислових CAD/CAE-систем.

Подальшим кроком у розробці систем автоматизованого проектування процесів ІПД є створення хмарних сервісів, які дозволять накопичувати інформацію по відомим процесам ІПД і при наявності компонент зі штучним інтелектом виконувати проектування та оптимізацію нових схем на основі знань, накопичених в ході аналізу існуючих процесів [7]. Розглянуті підходи до розробки загальної структури та компонент інтегрованої САПР дозволять істотно підвищити ефективність автоматизованого проектування процесів ІПД і розробити інструменти для проведення повного циклу моделювання, досліджень і оптимізації в процесі проектування.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Розглянуто проблеми впровадження процесів інтенсивного пластичного деформування (ІПД) в машинобудуванні. Запропоновано рішення для автоматизації проектування процесів ІПД за допомогою промислових CAD/CAE-систем, та можливості їх інтеграції.

2. Запропоновані нові підходи в розробці систем автоматизованого проектування з застосуванням структурної та параметричної оптимізації, методів штучного інтелекту, таких як: інтелектуальний аналіз даних, генетичний алгоритм; а також використання хмарних середовищ для централізованого зберігання та обробки результатів моделювання процесів ІПД.

Список використаних джерел

1. Kuang-Hua Chang. Product Performance Evaluation with CAD/CAE / Elsevier, 2013. 537 p.
2. Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем: монографія / О.Ф. Тарасов, О.В. Алтухов, П.І. Сагайда, Л.В. Васильєва, В.Л. Аносов. – Краматорськ: ЦТРІ «Друкарськіий дім», 2017. – 239 с.
3. Rahulkumar Shivajirao Hingole. Advances in Metal Forming: Expert System for Metal Forming / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. 126 p.
4. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.: ил. ISBN 5-94157-522-X
5. Topology Optimization: Theory, Methods and Applications / Martin Philip Bendsoe, Ole Sigmund // Springer, 2003, 393 p. ISBN 3-540-42992-1
6. Topology Optimization in Structural and Continuum Mechanics /George I. N. Rozvany, Tomasz Lewiński // Springer-Vedag, 2014, 471 p. ISBN 978-3-7091-1642-5
7. Компьютерный инжиниринг : учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 93 с.

УДК 620.178.15/179; 539.4

В.П. Ламашевський[1], В.А. Тітов[2], В.П. Швець[1], Н.К. Злочевська[2]
1 – Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ
2 – Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ

ЕКСПРЕС-МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ НАПІВФАБРИКАТІВ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ.

Відомо, що, в більшості випадків, основною причиною відмов сучасного обладнання являються вихідні технологічні дефекти та пошкодження, які накопичилися в конструкційних матеріалах при експлуатації.

Для контролю якості й визначення основних властивостей метала в сучасній техніці використовують різні методи, зокрема й ті, що не порушують цілісності об’єкта дослідження. Серед них широкого застосування набув «метод твердості», який дозволяє по характеристикам твердості металу, з тією чи іншою достовірністю, судити про його поточні структурний стан і фізико-механічні властивості та, як наслідок, про можливість подальшого його використання в якості конструкційного матеріалу.

Твердість, як одна із важливих характеристик властивостей матеріалу, широко використовується вітчизняними та закордонними спеціалістами для оцінки його поточного стану. Однак, в останніх роботах, виконаних в багатьох наукових центрах, показано, що, не звертаючи увагу на позитивні якості методу твердості й простоту приладів, які використовуються при цьому, цей метод в його класичному використанні характеризується низькою інформативністю, не високою точністю, що пояснюється слабкою, не завжди однозначною, кореляцією між твердістю матеріалу та окремими видами (природою) пошкоджуваності.

В ІПМіц. імені Г.С. Писаренка НАН України розроблено й впроваджено в практику новий метод оцінки якості металу, в тому числі рівня деградації його структури в процесі виготовлення напівфабрикату та при подальшій експлуатації конструктивного елементу, виготовленого з цього напівфабрикату, – метод LM- твердості, в якому за параметр стану матеріалу беруть не характеристику його твердості, а ступінь розсіювання чисел твердості при випробуваннях в ідентичних умовах [1 - 5 та ін.].

Фізичне обґрунтування методу LM- твердості заключається в тому, що розсіювання характеристик механічних властивостей притаманне всім матеріалам, а ступінь цього розсіювання суттєво залежить від їхнього структурного стану.

Механічний аспект практичного використання цього методу полягає у виборі параметра, який інтегрально характеризував структурний стан матеріалу у відношенні його гомогенності (однорідності) та в обґрунтуванні раціонального методу обробки результатів масових випробувань на твердість із метою його визначення.

Оцінку структурної неоднорідності матеріалу при наявності досить великої сукупності даних, що віддзеркалюють його властивості, можна провести тільки за допомогою методів математичної статистики на основі обґрунтованих законів розподілу. В методі LM-твердості про зміни структури, іншими словами про деградацію матеріалу в певних умовах, пропонується судити по розсіюванню характеристик його властивостей, зокрема твердості. В якості параметра розсіювання виявилося зручним використовувати параметр m в розподілі Вейбулла [6], який має значення коефіцієнта гомогенності матеріалу. Цей параметр визначається по формулі Гумбеля [7]. Стосовно випробувань на твердість ця формула має вигляд:

$$m = 0.4343 \cdot d_n [\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (\lg H_i - \overline{\lg H})^2]^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де d_n - визначається в залежності від кількості n вимірювань (рекомендується 15-30 вимірювань); H_i – значення твердості при і-му вимірюванні; $\overline{\lg H}$ – середнє значення логарифма твердості за результатами n вимірювань.

Оцінювання ступені розсіювання характеристик твердості можна проводити і за іншими статистичними критеріями, наприклад, за коефіцієнтом варіації ν, який показує наскільки велике розсіювання величин, що складають наведену сукупність у порівнянні із середнім значенням:

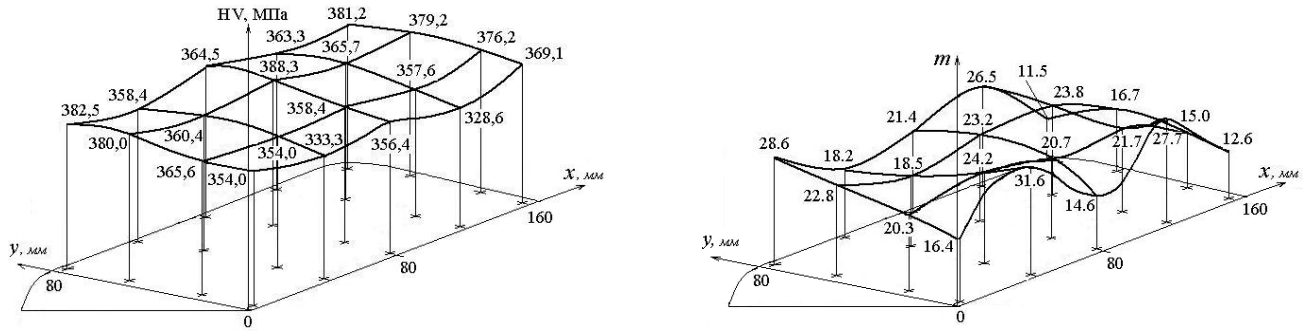
$$\nu = \frac{1}{\bar{H}} \cdot [\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (H_i - \bar{H})]^{\frac{1}{2}} \qquad (2)$$

де H_i і n мають такі ж значення, що і в формулі (1); $\overline{H}$ – середнє значення твердості.

Вибір в якості характеристики розсіювання твердості матеріалу, що корелює з його пошкоджуваністю, а не якоїсь іншої характеристики, пов'язано з тим, що визначення твердості не вимагає порушення цілісності матеріалу й, найважливіше – твердість матеріалу, як його властивість слабо змінюється при зовнішніх впливах (напрацюванні) на відміну інших властивостей.

На сьогодні накопичено значний об'єм фактичних результатів із діагностики конструкційних матеріалів різних класів та експертизи їх руйнування після напрацювання в умовах механічного навантаження та різного роду технологічних діянь, наприклад, термічної обробки, зварювання, обробки тиском, тощо.

На рис. 1, для прикладу, наведені епюри розподілу значень характеристик твердості (рис.1,а) та коефіцієнта гомогенності m (рис.1,б) по поверхні технологічної моделі лопатки складної форми із нікелевого сплаву ЧС70ВИ після термічної обробки, з якого видно, що характеристики твердості матеріалу малочутливі для оцінки якості металу. Вони на різних ділянках приблизно однакові й знаходяться в межах HV = 360,0 -$^{+}$30 МПа, тоді як параметр m на ділянках п'яти поперечних перерізів моделі, рівномірно розміщених вподовж елемента, від вхідної до вихідної кромки, відрізняються майже вдвічі. Степінь неоднорідності поверхні заготовки лопатки після термічної обробки в оцінці коефіцієнтом гомогенності сягає порядку 70%, що обумовило внести відповідні корективи в технологію термообробки.



а б

Рис. 1. Твердість (а) і пошкодженність (б) матеріалу лопатки.

Метод LM- твердості був застосований для оцінки однорідності структури металу по перерізах заготовок однофазного і двофазного матеріалів при пластичному деформуванні останніх в умовах гвинтового уширяючого пресування (ГУП) [8 - 9].

На рис. 2 приведені епюри розподілу середніх арифметичних значень твердості (по 30 вимірів) на відповідних перерізах заготовок для однофазного алюміній-літієвого сплаву 1420, сплавів системи Zr-Nb та системи Ti-TiBn після ГУП.

Відмітимо, що співставлення вимірів твердості у вихідному стані та після пресування свідчить про деформаційне зміцнення металів.

Наприклад, для сплаву 1420 середнє значення твердості у вихідному стані складало HV=106 МПа, а після ГУП HV=114±2 МПа. При цьому твердість матеріалу в обох випадках була майже однаковою по перерізу.

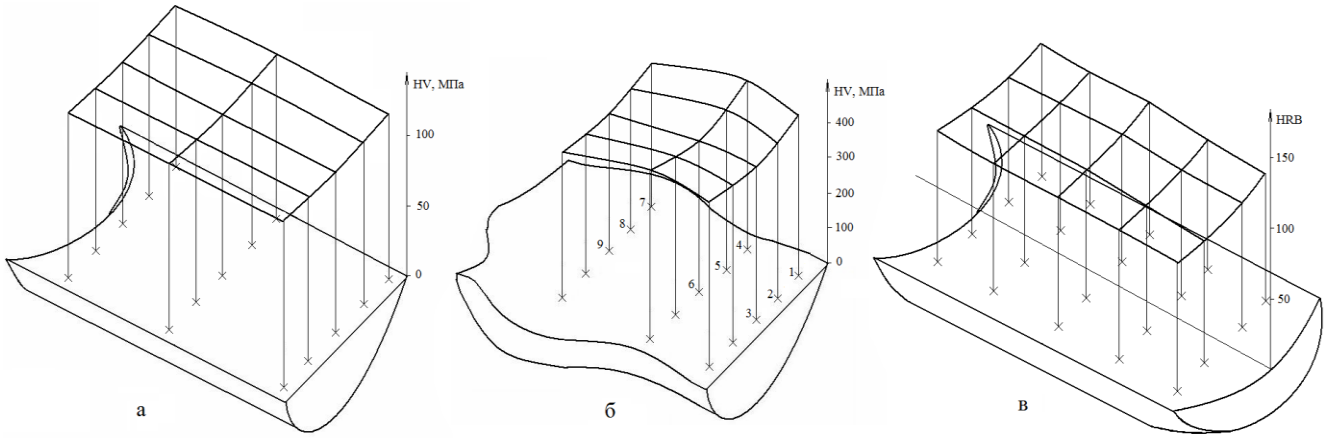
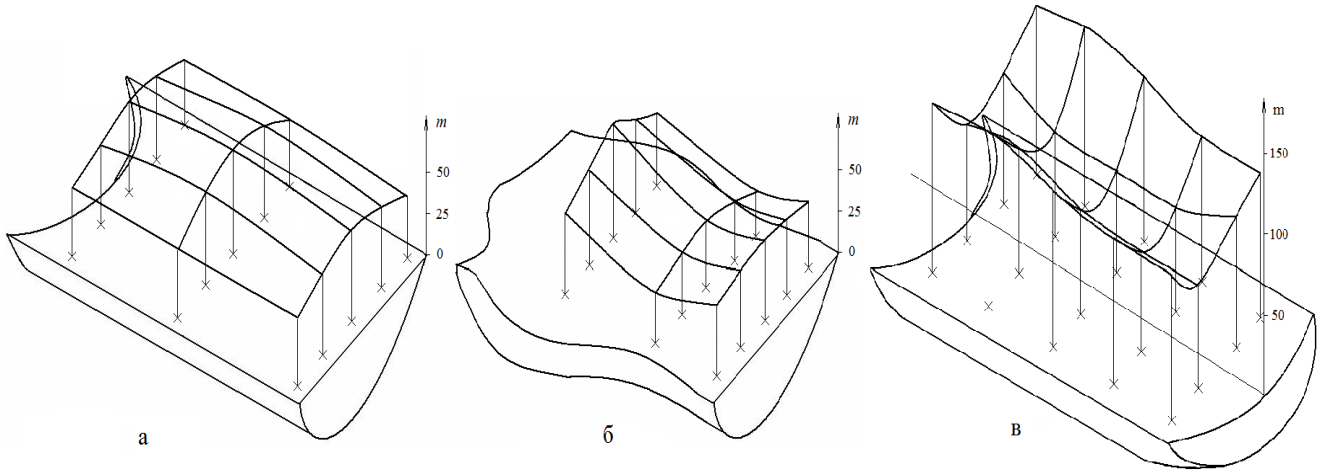


Рис. 2. Розподіл твердості після обробки матеріалів тиском: а – алюмінієвий сплав 1420, б – титановий сплав (бета титан), в – цирконієвий сплав (Zr1%Nb)

На рис. 3 наведено розподіл коефіцієнта гомогенності досліджуваних металів по перерізах заготовки після ГУП. Як видно з цих даних коефіцієнт гомогенності матеріалів Вейбулла *m* – більш чутлива характеристика до трансформації структури металу при обробці тиском. Так однофазний сплав 1420 після двох етапів обробки ГУП в результаті максимальної інтенсивності пластичної деформації по периферії заготовки накопичує в цих місцях максимальні пошкодження, які в оцінці параметром *m* складають біля 50% від вихідного стану.



Рис/ 3. Розподіл коефіцієнта гомогенності *m* після обробки матеріалів тиском: а – алюмінієвий сплав 1420, б – титановий сплав (бета титан), в – цирконієвий сплав (Zr1%Nb)

Як видно з наведених даних, абсолютні значення твердості по зразку із титанового спаву знаходяться майже на одному рівні *HV* = 430 ± 20 (рис 2б). Але при переході до більш здеформованого стану матеріалу твердість дещо зростає, однак в центрі заготовки, де деформації були мінімальні, значення твердості практично не змінились по відношенню до вихідного стану і дорівнювали *HV* = 400 ± 5. Проте в оцінці коефіцієнтом гомогенності *m* найбільш високий рівень неоднорідності має місце в металі, який найбільше здеформувався при отриманні заготовкис деформування.

Серед досліджуваних матеріалів, в оцінці коефіцієнтом *m*, найбільш однорідний цирконієвий сплав (рис. 3в). Твердість по всьому зразку знаходиться наодному рівні

HRB = 90 ± 2 (рис. 2в) і після деформування залишилась майже незмінною по відношенню до вихідного стану *HRB* = 87 ±1. Найменшу гомогенізацію структури сплав має в середній частині в співставленні з зонами, що примикають до торців заготовки, неоднорідність по всій області сягає 20%.

Таким чином, для реальних конструктивних елементів, які піддаються обробці тиском з високим рівнем пластичної деформації має місце інтенсивна трансформація структури. Межі зерен, які, будучи самі по собі нерівновісними дефектами, є місцем реалізації основних механізмів еволюції деградаційних процесів, що призводить до неоднорідності структури матеріалу. Залежно від вихідної структури матеріалу, в тому числі від розмірів зерна, а також умов навантаження, внесок зсувів по поверхні границь зерен, приграничних і внутрізеренних деформацій може змінюватися в широкому діапазоні - від 1 до 90% повної деформації [10].

За допомогою методу LM- твердості також можна оцінити схильність досліджуваних матеріалів до накопичення пошкоджень в процесі експлуатації. Таким чином, практичного значення набувають вивчення і контроль накопичення пошкоджень в матеріалі в процесі виготовлення виробу та його експлуатації, їх результати можуть бути використані як основа прогнозування роботоздатності та оцінки подальшого ресурсу матеріалу. При цьому в якості параметра пошкоджуваності може застосовуватися коефіцієнт гомогенності Вейбулла *m*, розрахований по методу LM-твердості.

Список використаних джерел

1. Лебедев А.А., Музыка Н.Р., Волчек Н.Л. Определение поврежденности конструкционных материалов по параметрам рассеяния характеристик твердости // Проблемы прочности - 2002.-№4.-С.5-12.
2. Патент № 52107А, МКИ 7 G 01 N 3 / 00, G01 N 3 / 40. Україна. Спосіб оцінки деградації матеріалу внаслідок накопичення пошкоджень в процесі напрацювання, „LM- метод твердості” /Лебедєв А.О., Музика М.Р., Волчек Н.Л./. Промисл. власність. Офіційний бюлетень№ 1, опубл. 16.12.2002.
3. ДСТУ 7793:2015 Матеріали металеві. Визначення рівня розсіяних пошкоджень методом LM- твердості.
4. Швец В.П. Дослідження однорідності структури керамічних матеріалів // Вісник НТУ «ХПІ» № 52, 2014р., С. 157–162.
5. Лебедев А.А., Голубовский Е.Р., Локощенко А.М., Музыка Н.Р., Ламашевский В.П., Швец В.П., Ефименко Е.В. Оценка предельных уровней рассеянных повреждений в материалах при стационарных режимах статического и циклического нагружения // Пробл. прочности – 2012р. №6. С.5–13.
6. Weibul I W. A statistical distribution function of wide applicability // J. of Appl. Mechanics, 1951, V. 18, ;№3, p. 293-297.
7. Gumbel E.J. Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Application.-Washington: National Bureau of Standards, 1954.-472p.
8. Патент № 64346, МПК B21C25/00. Україна. Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні / Тітов В.А., Кондратюк Е.В., Тривайло М.С., Злочевська Н.К., Пейчев Г.І. /. Промисл. власність. Офіційний бюлетень №21, опубл. 10.11.2011.
9. Тітов В.А. Розробка методів забезпечення механічних властивостей при формоутворенні деталей з структурно-неоднорідних матеріалів /А.В. Тітов, Н.К. Злочевська // Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти: Тези доповідей. III Міжнародна науково-технічна конференція, Київ, 14-16 травня 2012р. / НТУУ «КПІ». – К., 2012. – С.76-77.
10. Кайбышев О.А., Вагнер Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М.: «Металлургия», 1987. -214 с.

УДК 539.3

В.А. Матвійчук, В. М. Михалевич
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМІВНОСТІ ЗАГОТОВОК НА ОКРЕМИХ ПЕРЕХОДАХ ВАЛЬЦЮВАННЯ

Процеси холодного вальцювання мають багато переваг, проте їх широкому впровадженню перешкоджає небезпека тріщиноутворення в заготовках із малопластичних матеріалів під час їх формозмінення або утворення схованих дефектів внаслідок надто високого рівня накопичених мікропошкоджень.

Попередні дослідження показали ефективність запропонованого способу виготовлення криволінійних заготовок двоетапним вальцюванням [1, 2]. Напружено-деформований стан матеріалу в небезпечних зонах заготовки під час вальцювання змінюється з простого розтягу на першому етапі до складного розтягу з крученням впродовж другого етапу формозмінення.

В цій роботі представлені результати математичного моделювання закономірностей накопичення пошкоджень на другому етапі в залежності від величини деформації першого етапу.

Двохетапний процес «розтяг» - «розтяг + кручення» супроводжується зміною компонентів напрямного тензора приростів деформацій $\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{d\varepsilon_{ij}}{d\bar{\varepsilon}}$, де $d\varepsilon_{ij}$ - компоненти тензора приростів пластичних деформацій; $d\bar{\varepsilon}$ - інтенсивність приростів пластичних деформацій. В зв'язку з цим більш повного врахування особливостей зміни напружено-деформованого стану, порівняно зі скалярними моделями [3], необхідно побудувати модель деформівності матеріала, що базується на тензорному поданні пошкодження макрочастинки

$$\psi_{ij}\left(\left(\bar{\varepsilon}\right)\right) = \left(\frac{\bar{\varepsilon}_1}{\bar{\varepsilon}_t^*}\right)^n + n \cdot \int_{\bar{\varepsilon}_1}^{\bar{\varepsilon}} \frac{z^{n-1}}{\bar{\varepsilon}_{fs}^n\left[\eta\left(z\right)\right]} \cdot \beta_{ij}\left(z\right) \cdot dz, \quad 0 \le \bar{\varepsilon}_1 < \bar{\varepsilon}_t^*, \quad \bar{\varepsilon} \ge \bar{\varepsilon}_1, \tag{1}$$

де ψ_{ij} - компоненти тензора-девіатора пошкоджень; $\bar{\varepsilon}_1$ - величина деформації на першому етапі; $\bar{\varepsilon}_t^*$ - гранична пластична деформація до руйнування під час розтягу; $\bar{\varepsilon}_{fs}\left(\eta\right)$ - крива граничних деформацій при стаціонарному деформуванні; n – параметр моделі, що відображує характер підсумовування пошкоджень.

За міру пошкоджень ψ приймаємо другий інваріант тензора пошкоджень

$$\psi = \psi_{ij} \cdot \psi_{ij}, \quad \psi\left(0\right) = 0, \quad \psi\left(\bar{\varepsilon}_*\right) = 1, \tag{2}$$

де $\bar{\varepsilon}_*$ - розрахункова величина граничної пластичної деформації для даного шляху деформування. При n=1 із **Ошибка! Источник ссылки не найден.** випливає модель руйнування, що базується на тензорному поданні пошкодження макрочастинки та застосуванні лінійного принципу накопичення пошкоджень.

Шлях деформування на другому етапі формозмінення апроксимували відрізком прямої

$$\eta\left(\bar{\varepsilon}, \bar{\varepsilon}_1\right) = \frac{\bar{\varepsilon} - \bar{\varepsilon}_0}{\bar{\varepsilon}_1 - \bar{\varepsilon}_0}, \tag{3}$$

де $\bar{\varepsilon}_0$ - величина пластичної деформації в точці шляху деформування при η=0.

Результати розрахунків представлено на рис.1.

Згідно лінійному принципу накопичення пошкоджень, при найменшому дослідженому значенні деформації першого етапу, на другому етапі накопичення пошкоджень відбувається за законом близьким до лінійного. Із збільшенням деформації на першому етапі накопичення пошкоджень на другому етапі описується монотонно зростаючою опуклою кривою. При цьому швидкість накопичення пошкоджень монотонно зменшується.

Згідно нелінійному принципу накопичення пошкоджень, при найменшому дослідженому значенні деформації першого етапу, на другому етапі накопичення пошкоджень описується монотонно зростаючою угнутою функцією із зростаючою швидкістю накопичення

пошкоджень. Із збільшенням деформації на першому етапі накопичення пошкоджень на другому етапі описується кривою, подібною до кривої, що породжена використанням лінійного принципу.

Прогноз на основі використання лінійного принципу дає більш жорстку оцінку величини накопичених пошкоджень.

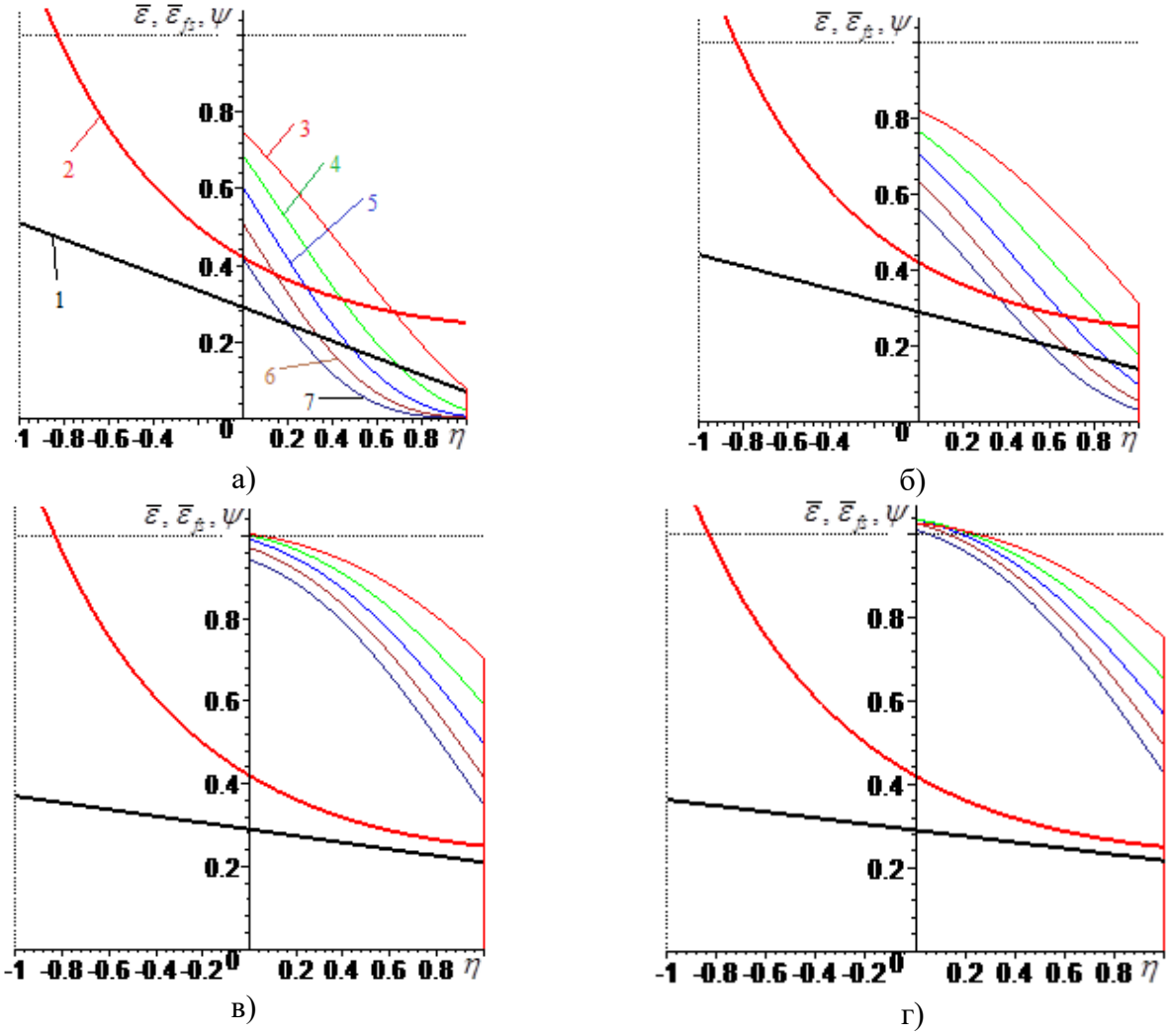


Рис. 1. Шлях деформування - 1, діаграма пластичності – 2 ([4]), та криві накопичення пошкоджень (3÷7) на другому етапі формозмінення (n=1; 1.5; 2, 2.5; 3); $\bar{\varepsilon}_0 = 0.29$;
а) – $\bar{\varepsilon}_1 = 0.07$; б) – $\bar{\varepsilon}_1 = 0.14$; в) – $\bar{\varepsilon}_1 = 0.21$; г) – $\bar{\varepsilon}_1 = 0.217$.

Розроблений математичний апарат надає можливість здійснювати теоретичне дослідження закономірностей накопичення пошкоджень, що необхідно на стадії технологічної підготовки операцій формозмінення заготовок.

Список використаних джерел

1. Матвійчук В.А. Розвиток процесів холодного вальцювання криволінійних заготовок із алюмінієвих сплавів /В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська// Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти». – Київ – Херсон НТУУ «КПІ» ММІ, 2016 С. 26 – 29.
2. Матвійчук В. А. Оцінка деформованості матеріалу криволінійних заготовок при холодному вальцюванні / В. А. Матвійчук, І. А. Бубновська // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця: ВНАУ. – 2017. - №4 (99). – С. 92-96.
3. Stefan Golling, Rickard Östlund, Mikael Schill, et al., A comparative study of different failure modeling strategies on a laboratory scale test component, in 6th International Conference Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel CHS2 : June 4-7 2017, Atlanta, Georgia, USA : proceedings, 2017, pp. 37–46.
4. Михалевич В. М. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, О. В. Краєвський // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ – 2018. – № 2(8). – С. 56 64.

УДК 621.7

Аріф Намоглу[1], В.Л. Чухліб[2], В.Д. Мішалов[1], О.О. Філіппі[1], Ю.Ю. Зубко[1], Є.В. Пиндич[1]
1 - ТОВ «Дніпропрес Сталь», м Дніпро
2 - Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м Харків

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ПЛАНУВАННЯ ВИТРАТ МЕТАЛУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПОКОВОК ВІЛЬНИМ КУВАННЯМ В УМОВАХ КОВАЛЬСЬКО-ТЕРМІЧНОГО ЦЕХА ТОВ «ДНІПРОПРЕС СТАЛЬ»

Нормування витрат матеріалів проводиться з метою встановлення їх планової кількості, необхідного для виготовлення виробів і забезпечення найбільш раціонального і ефективного використання сировини і матеріалів у виробництві.

У собівартості продукції, вартість витраченого металу становить значну частину (60-80%). Відомо, що витрата металу складається з його витрат на виготовлення власне деталей (їх маси) і всіх видів втрат (відходи і брак). Величина технологічних відходів при усіх способах переробки металу визначає в значній мірі економічність роботи підприємства.

Досвід заводів показує, що при освоєнні сучасних технологічних процесів досягається значний техніко-економічний ефект: зниженням витрат металу, витрат на інструмент і експлуатацію устаткування, зниженням загальної трудомісткості обробки деталей, механізацією і автоматизацією процесів кування зі зниженням ручної праці, скорочення циклу обробки деталей. І, найголовніше, досягається низька загальнозаводська собівартість виготовлення деталей, висока якість не тільки отримання точних розмірів, але і механічних характеристик [1-4].

При складних конфігураціях деталей, особливо з складнодеформуємих (малопластичних) сталей і сплавів, дуже важко (в ряді випадків неможливо) виготовляти поковки з малими припусками і напусками, що посилюється в умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва. Об'єктивним показником ефективності виробництва поковок є коефіцієнт використання металу $К_{вм}$. При виготовленні складних деталей з великих злитків $К_{вм}$=(0,1-0,2) і навіть нижче. Настільки низьке значення $К_{вм}$ пояснюється не тільки складністю конфігурації деталей, але й недостатністю обліку значень $К_{вм}$. Чим вище значення $К_{вм}$, тим більш прогресивна прийнята на заводі технологія. $К_{вм}$ визначає рівень усього виробничого циклу. Наприклад, значення $К_{вм}$ може бути відносно високим за рахунок великого значення виходу придатного в ковальському цеху, але припуски і напуски в поковок будуть великі, або значення $К_{вм}$ може знизитися за рахунок використання невідповідного профілю або розмірів вихідного металу. Отже, можливі варіанти значень $К_{вм}$ ще не вирішують головної задачі ковальсько-пресового виробництва, про максимальне наближення форми і розмірів поковки до чистового вигляду деталі з метою максимального зниження трудомісткості обробки деталей на металорізальних верстатах.

В ковальських цехах є цілий ряд різноманітних ковальських операцій і слід прагнути до найбільшого значення $К_{вм}$, домагаючись тим самим економного витрачання металу при виробництві поковок.

Отримання високоякісних поковок вільним куванням залежить від правильного проектування і виконання технологічного процесу, а також від організації роботи технологічного контролю, зокрема, контролю витрат металу, в завдання якого входить не тільки виявлення, а й попередження браку. У виробничих умовах причинами браку можуть бути дефекти вихідного матеріалу і відхилення від технологічного процесу. Буває, що на етапі прийому поковок виявляються приховані внутрішні дефекти поковки. Вони не задовольняють потребам замовника, і поковка, на яку витрачено чимало часу і коштів і яка може важити кілька тонн, йде в брак. З появою методів математичної статистики стало можливим заздалегідь передбачити витрати металу при куванні. Однією з основних проблем при отриманні поковок в ковальсько-термічному цеху є значне поверхневе утворення тріщин (особливо при куванні легованих і спеціальних сталей), що призводить до значної витрати металу на отримання

готової продукції. Одним із шляхів обліку поверхневого тріщиноутворення поковок є визначення витратного коефіцієнту металу. При цьому цей облік бажано виконувати не вдаючись до експериментування, а використовувати методи статистичного аналізу. Одним з таких сучасних підходів, в якому реалізовані сучасні методи статистичного аналізу є розроблена методика, яка дозволить врахувати і запланувати витрати металу на виробництво поковок.

В умовах ТОВ «Дніпропрес Сталь» були створені бази даних витрат металу за групами поковок. Були розроблені таблиці раціональних пресових поковок і кожна таблиця охоплює певну групу поковок: гладкі круглого перерізу, гладкі прямокутного перерізу, круглого перетину з одним уступом, круглого перетину з уступами, шестерні, циліндри, кільця та інші. Для цього в карту технологічного процесу записується шифр поковки та $К_{вм}$, а цех повинен звітувати за номенклатурою поковок та значення $К_{вм}$ по шифрах. Значення $К_{вм}$ повинні бути не менш показників отриманих шляхом статистичної обробки даних для умов ковальсько-термічного цеху ТОВ «Дніпропрес Сталь». Для цього була розроблена карта технологічного процесу з урахуванням використовуваної методики розрахунку та планування витрати металу при виробництві поковок вільним куванням в умовах ковальсько-термічного цеху ТОВ «Дніпропрес Сталь».

ВИСНОВКИ.

В роботі розглянуті існуючі методики розрахунку та планування витрат металу при виробництві поковок вільним куванням. На основі аналізу проведених досліджень сформульовано раціональні параметри методики розрахунку та планування витрат металу для умов ТОВ "Дніпропрес Сталь". За результатами розроблено раціональну карту технологічного процесу з впровадження розробленого підходу розрахунку та планування витрат металу при виробництві поковок вільним куванням для умов ковальсько-термічного цеха ТОВ "Дніпропрес Сталь".

Розроблений програмний комплекс для обліку і планування витрат металу заснований на методах математичної статистики і створений співробітниками Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» і ТОВ «Дніпропрес Сталь». Розробка комплексу почалася в грудні 2017 року і в даний час розроблені варіанти програми для обліку витрат металу в ковальсько-термічному цеху. Візуалізація показників витрат металу виконується в карті технологічного процесу одночасно з розрахунком, що дозволяє негайно інтерпретувати отримані результати і вносити в технологію необхідні зміни. При підготовці вихідних даних користувач оперує виключно технологічними поняттями і спілкується з системою на звичній мові конструктора-технолога, що дозволяє швидко і легко ввести всі необхідні для розрахунку параметри. Програма забезпечує автоматичне формування розрахункових моделей, що дозволяє забезпечити високу точність розрахунку, не залежну від кваліфікації користувачів.

У базі даних програми містяться основні типи поковок, які виготовляються в ковальсько-термічному цеху. Технологічний процес кування розглядається як технологічний ланцюжок, який може складатися з ряду операцій. Програма забезпечує розрахунок варіантів в пакетному режимі. Витрати металу заготовки може бути пораховані як на гідравлічному пресі, так і на пароповітряному молоті.

На ТОВ «Дніпропрес Сталь» є можливість застосувати знання користування цією програмою співробітниками технічного управління ТОВ «Дніпропрес Сталь». Використання даного програмного продукту дозволяє більш ефективно розробляти технологічний процес кування, що дозволяє знизити кількість браку і, як наслідок, знизити витратний коефіцієнт металу.

Список використаних джерел

1. Автоматизация проектирования технологии ковки на молотах / В.Н. Трубин, С.Д. Шалягин, С.Н. Орлов и др. - М.: Машиностроение, 1974. - 160 с.
2. Камнев П.В. Совершенствование ковки крупных поковок - Л.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
3. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства - М.: Машиностроение, 1966. - 600 с.
4. Система управления качеством проектирования технологических процессов ковки / В.Н.Трубин, В.И.Макаров, С.Н.Орлов и др. - М.: Машиностроение, 1984. - 284 с.

УДК 519.117.3

Р.М. Юзефович[1,2], М.З. Варивода, І.М. Яворський[1,3], П.Р. Курапов[2]
1 - Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, лабораторія вібродіагностики, м. Львів, Україна, e-mail: roman.yuzefovych@gmail.com
2 - Національний університет "Львівська політехніка", кафедра прикладної математики, м. Львів, Україна
3 - Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікації та інформатики, м. Бидгощ, Польща, e-mail: ihor.yavorskyy@gmail.com

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Для забезпечення безаварійного функціонування механічних систем розробляють системи контролю їх технічного стану з метою розпізнати дефекти вузлів машин та деталей на початкових стадіях їх розвитку, планувати ремонтні роботи, запобігати простоям, що призводять до виробничих втрат. На даний час існує багато принципів і методів отримання інформації про стан технічних об'єктів, які спрямовані на оцінку працездатності та пошук дефектів виробів у процесі їх виготовлення, монтування і експлуатації. Носієм інформації про технічний стан у системах віброакустичної діагностики є вібраційний сигнал (віброприскорення, віброшвидкість, вібропереміщення), що збуджується в результаті механічної взаємодії деталей механізмів, наприклад, тіла кочення і сепаратора в підшипниках, пари коліс у редукторі, циліндра і поршня у двигунах внутрішнього згорання, зубчасті передачі тощо. Характер такої взаємодії знаходить своє відображення у властивостях зареєстрованих сигналів. Для опису і аналізу закономірностей структури відібраних вібраційних сигналів необхідно вибрати та обґрунтувати адекватні математичні моделі сигналів, методи і алгоритми їх обробки та комп'ютерної підтримки процесів виділення діагностичних ознак і прийняти рішення про стан об'єкта [1, 2]. Існує широкий клас механізмів циклічної дії, в яких взаємодія вузлів підпорядкована певній повторюваності. У більшості випадків механічна вібрація, що виникає в елементах досліджуваних систем, може, як правило, розглядатися як вимушений коливний рух цілого механізму відносно положення рівноваги. Часто виходять з припущення, що для її опису достатньо детермінованих моделей у вигляді періодичних або майже періодичних функцій. Інформативними параметрами сигналу вібрації тоді є періоди, амплітуди й фази гармонічних складових функцій, що описують коливання. Оцінки амплітуд вимушених коливань, зумовлених обертанням, дають змогу виявити значні зміни характеристик технічного стану механічного устаткування, які граничать з аварійною ситуацією в процесі експлуатації машини.

Відомі імовірнісні підходи до задачі аналізу стохастичних складових сигналів вібрацій у вигляді стаціонарних випадкових процесів передбачають використання для формування діагностичних ознак усереднених в часі (постійних) характеристик. До них слід віднести оцінки дисперсії флуктацій, оцінки кореляційної функції і спектральної густини потужності, оцінки моментів одномірної функції розподілу ймовірностей вібрацій. Оскільки фаза вимушеного періодичного збурення в машині вносить певну часову структуру в стохастичні відхилення від ідеальної періодичності, випадково модульовані за амплітудою і фазою вібрації є нестаціонарними. Інформація про локальні дефекти, які зароджуються, може бути отримана при аналізі параметрів стохастичної амплітудно-фазової модуляції, оскільки розвиток таких дефектів викликає у вібраційному процесі ріст числа і амплітуд короткотривалих імпульсів, які модулюють амплітуду й фазу вимушених і власних коливань механічної системи. Зокрема, локальні дефекти у вигляді задирів, спричиняючи заїдання, схоплення контактуючих поверхонь модулюють фазу вимушених коливань, а дефекти типу тріщин, викришування, корозії або

ерозії поверхонь, модулюють амплітуду вимушених коливань. В обох випадках характер такої модуляції є стохастичний.

Проблематиці вибору та обґрунтування математичних моделей віброакустичних сигналів і методів їх аналізу присвячено немало публікацій [1, 3, 4]. Специфіка об'єктів віброакустичної діагностики, різноманітність задач обробки вимірювальних сигналів роблять неможливим існування універсального методу визначення діагностичних ознак, що характеризують технічний стан деталей і вузлів механізмів. Однак може бути виділений певний клас моделей, який включає в себе відомі в літературі окремі представлення, як детерміновані, так і ймовірнісні, уможливлюючи тим самим розробку загального підходу до їх аналізу. Це імовірнісні моделі у вигляді періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) і їх узагальнень [4].

Однією з найпростіших імовірнісних моделей, що описують і стохастичність, і циклічність вібраційних навантажень, є періодично корельовані випадкові процеси [2–4]. Такі процеси можна подати у вигляді суми промодульованих за амплітудою та фазою гармонічних коливань:

$$\xi(t)=\xi_0(t)+\sum_{k\in N}\left[\xi_k^c(t)\cos k\omega_0 t+\xi_k^s(t)\sin k\omega_0 t\right],$$

де $\xi_0(t)$, $\xi_k^c(t)$, $\xi_k^s(t)$ – стаціонарні випадкові процеси; $\omega_0=\dfrac{2\pi}{T}$; T – період корельованості ПКВП. Форма регулярних навантажень $m(t)=E\xi(t)$ (E – оператор математичного сподівання) описується математичними сподіваннями стаціонарних випадкових складових $m_0=E\xi_0(t)$, $m_k^c=E\xi_k^c(t)$, $m_k^s=E\xi_k^s(t)$, при цьому

$$m(t)=m_0+\sum_{k\in N}\left(m_k^c\cos k\omega_0 t+m_k^s\sin k\omega_0 t\right). \qquad (1)$$

Кореляційна структура флуктуаційних навантажень визначається авто- та взаємокореляційними функціями процесів $\xi_0(t)$, $\xi_n^c(t)$ і $\xi_n^s(t)$. Кореляційні зв'язки між процесами $\xi_k(t)=\dfrac{1}{2}\left[\xi_k^c(t)-i\xi_k^s(t)\right]$ спричиняють періодичну зміну в часі кореляційної функції $b(t,u)=E\overset{\circ}{\xi}(t)\overset{\circ}{\xi}(t+u)$, $\overset{\circ}{\xi}(t)=\xi(t)-m(t)$, і тоді

$$b(t,u)=B_0(u)+\sum_{k\in N}\left[B_k^c(u)\cos k\omega_0 t+B_k^s(u)\sin k\omega_0 t\right]. \qquad (2)$$

Коефіцієнти ряду Фур'є (2), що називаються кореляційними компонентами, визначаються формулами

$$B_0(u)=\sum_{n\in Z}R_{nn}(u),$$

$$B_k(u)=\frac{1}{2}\left[B_k^c(u)-iB_k^s(u)\right]=\sum_{n,k\in Z}R_{n,n+k}(u)e^{-in\omega_0 u},$$

де $R_{nn}(u)=E\overset{\circ}{\xi}_n(t)\overset{\circ}{\xi}_n^*(t+u)$, $R_{n,n+k}(u)=E\overset{\circ}{\xi}_n(t)\overline{\overset{\circ}{\xi}_{n+k}(t+u)}$, "$\overline{}$" – знак спряження. Імовірнісну структуру реальних вібраційних навантажень можна дослідити з допомогою того чи іншого методу статистичної обробки реалізації ПКВП [5].

Для практичної реалізації ПКВП-підходу по дослідженню стану механічних систем у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України було розроблено цілий ряд інформаційно-вимірювальних систем, які забезпечують проведення широкого комплексу статистичних досліджень сигналів вібрацій методами ПКВП. Діагностичні ознаки в таких системах формуються з використанням імовірнісних характеристик як першого, так і другого порядків.

Власне на основі останніх дефекти механізмів можуть бути виявлені на ранніх стадіях розвитку. Створені системи показали себе працездатними й ефективними при проведенні діагностичних робіт на підприємствах України. З їх використанням були виявлені й класифіковані дефекти підшипників кочення, ковзання та зубчастих передач. На основі результатів таких досліджень було проведено оцінку експлуатаційної надійності відповідних вузлів механічних систем.

Список использованной литературы

1. Технические средства диагностики. Справочник / Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. и др. Под общ. ред. Клюева В.В. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
2. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: довідн. пос. у 8-ми т. / За заг. ред. акад. НАН України З. Т. Назарчука. – Львів: Простір-М, 2018. [Том 7]: Інформаційні технології неруйнівного контролю / І. М. Яворський, Є. П. Почапський, Р. А. Воробель, Б. П. Русин – Львів: Простір-М, 2018. – 508 с.
3. Мыслович М.В., Марченко Б.Г., Зварич В.Н. Стохастически периодические случайные процессы как модели информационных сигналов // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. – 1995. – № 1. – С. 46–51.
4. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань / За заг. ред. акад. НАН України З. Т. Назарчука. – Львів: ФМІ НАНУ, 2013. – 804 с.
5. Javorskyj I. Periodically correlated random processes: Application in early diagnostics of mechanical systems / Ihor Javorskyj, Ihor Kravets, Ivan Matsko, Roman Yuzefovych // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2017. – 83. – P. 406–438.

УДК 621.762

Г. Я. Акимов[1], И. В. Андреев[2], И. Ю. Тросникова[3], Т. А. Соловьева[3], Ю. Н. Романенко[3], В. И. Шеремет[3]
1 – Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина НАН Украины, г. Киев, Украина, e-mail: gencer47@ukr.net
2 – Институт сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина
3 – Национальный технический университет Украины «КПИ им. И. Сикорского», Киев, Украина, e-mail: scheremet.vitaliy@yandex.ua

ХОЛОДНОЕ ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ КАК СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8

Введение. В настоящее время твердосплавные материалы являются одними из наиболее востребованных материалов в промышленности. Позитивный опыт использования, полученный промышленными предприятиями и стремление повысить рабочие показатели твердосплавных изделий, стимулируют к дальнейшим исследованиям в этом направлении. Развитие данного производственного сектора осуществляется в двух направлениях. Первое – это улучшение химического состава сплавов. Второе, не связанное с прямым вмешательством в состав сплава, это – совершенствование технологии изготовления.

Перспективной технологией, обеспечивающей, при прочих равных условиях, более высокий уровень эксплуатационных свойств изделий, является холодное изостатическое прессование (ХИП). В основополагающих работах [1, 2] описывается поведение порошков при изостатическом прессовании и формирование свойств в зависимости от режимов ХИП. В работах [3, 4] сравниваются свойства материалов, полученных методом ХИП с свойствами тех же материалов, полученных одноосным прессованием; во всех случаях отчётливо заметно преимущество ХИП. В единичных работах [5, 6], в которых упоминается использование ХИП в подготовке образцов перед спеканием твердых сплавов типа WC-Co, не приводятся результаты влияния ХИП на свойства спеченных образцов.

Целью вышеперечисленных работ являлось выявление закономерностей влияния ХИП на свойства материалов. Значимость данной работы заключается в более частном подходе к явлениям, происходящим при ХИП, применимом к твердосплавному материалу на основе карбида вольфрама с 8% кобальтовой связующей.

Методика проведения исследований. Порошок, полученный в соответствие химическому составу изготавливаемого твердого сплава, смешивался с 5% раствором синтетического каучука в бензине, далее смесь, после обработки на вибромельнице, просеивали через сито и прессовали в стальной пресс-форме под давлением 70 МПа. Для прохождения полимеризации (затвердевания смеси) сформированные штабики сушили при температуре 120° С в течение 24 часов. Полученные штабики подвергались ХИП под давлением 0.2, 0.3 и 0,4 ГПа, в качестве материала оболочки использовался латекс. Спекание твердосплавной композиции осуществлялось в вакуумной печи при температуре 1440° С.

Была проведена серия исследований. Образцы шлифовались и полировались. Твердость измерялась методом индентирования по Виккерсу, оценивалась по величине диагоналей, в расчет бралась формула $HV = 1{,}854 * P/d^2$. Коэрцитивную силу $H_{см}$ (кА/м) измеряли на приборе «Кобальт-1». В ходе проведения комплексного исследования структуры каждого образца были получены общие результаты по микроструктуре, а затем построено распределение зерен WC от размера, а также толщины кобальтовой прослойки.

Результаты и обсуждения. Микроструктура экспериментального твердого сплава ВК8, полученного при трех давлениях, показана на рис. 1. При первичном осмотре разница в морфологии образцов практически не видна.

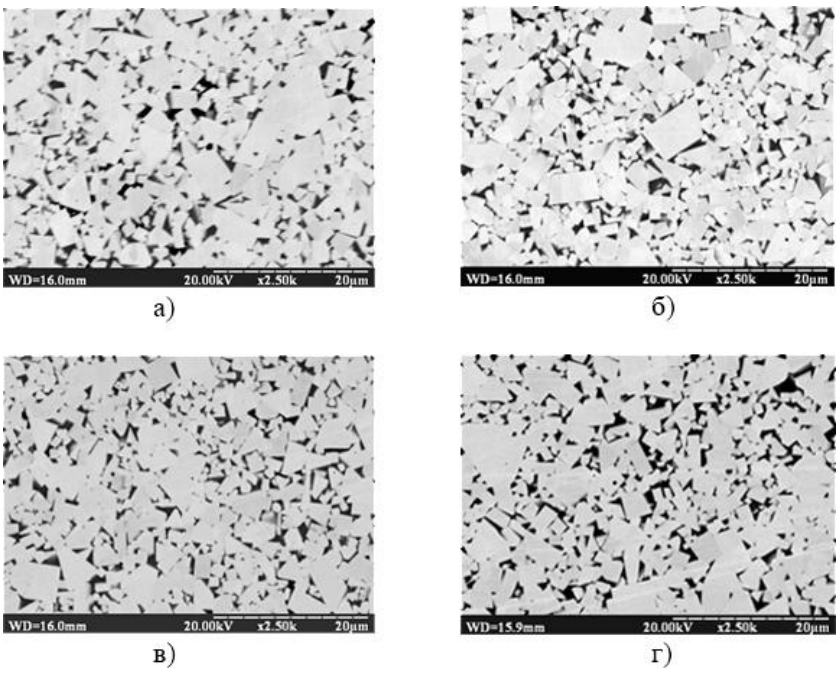


Рис. 1. Микроструктура твердого сплава ВК8: а – без давления; б – давление ХИП 2 кБар, в – давление ХИП 3 кБар, г – давление ХИП 4 кБар

Детальный анализ, произведенный с помощью программы Seo ImageLab, позволил получить сравнительные графики, отображающие распределение зерен WC (рис. 2 а) и толщины прослойки кобальта (рис. 2 б) по размеру.

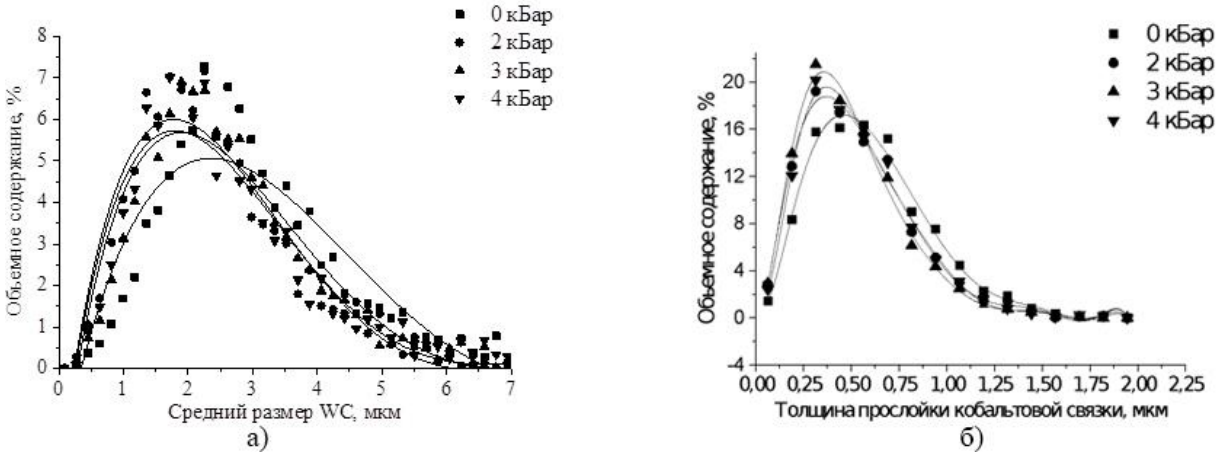


Рис. 2. Размер зерен WC (а) и толщина прослойки Co (б) при разных давлениях предварительного ХИП

Отчетливо наблюдается уменьшение размера зерна WC и толщины прослойки кобальта с увеличением давления предварительного ХИП, это подтверждается ростом значения коэрцитивной силы (рис. 3 а), так как по величине коэрцитивной силы качественно судят о зернистости сплава [7]. Рост дисперсности Co и WC отразился на микротвердости (рис. 3 б), кривые отвечающие за ХИП образцы лежат выше кривой отвечающей одноосно спрессованному образцу.

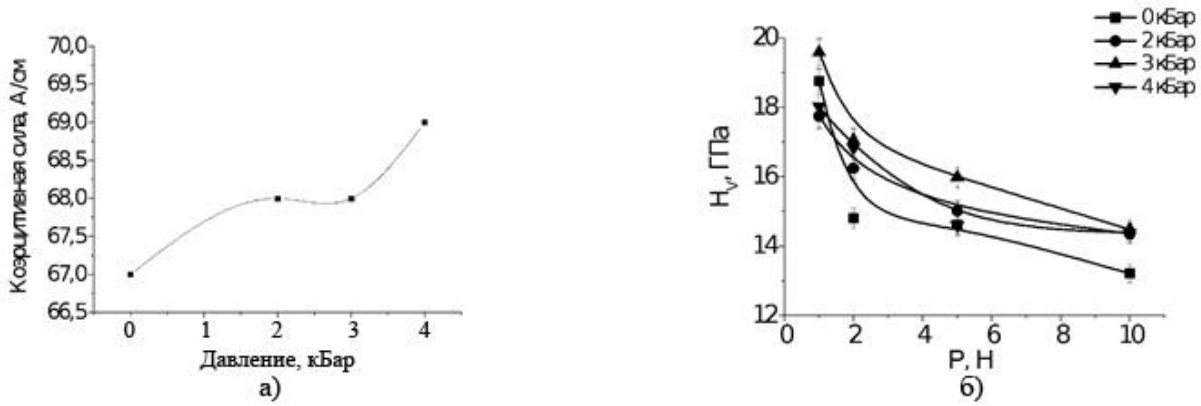


Рис. 3. Зависимость коэрцитивной силы (а) и микротвердости (б) от величины давления предварительного ХИП

При сравнительно невысоких давлениях – до 0.2 ГПа, повышение дисперсности кобальта, в значительной мере, реализуется за счет его пластической деформации. В то же время, за счет утоньшения прослойки Co, произошло сближение зерен WC, которым присуща анизотропия свойств, в частности, твердости, в зависимости от кристаллографического направления, зерна, ориентированные по более «твердой» стороне, давят на более «мягкие» стороны соседних зерен, тем самым инициируя дислокационную активность, в работе [3] описывается взаимодействие между частицами при ХИП. Во время спекания скопления дислокаций выступают в роли центров собирательной рекристаллизации, при выдержке они становятся центрами роста новых кристаллитов, это способствует росту дисперсности карбидной составляющей. Аналогичное действие предварительного ХИП на размер зерна после спекания ранее наблюдался на керамике MgO [8].

Выводы. Установлено, применение высоких давлений ХИП способствует росту дисперсности как, преимущественно, кобальтовой, так и карбидной составляющей, что благоприятно сказывается на показателях твердости сплава ВК8 и предопределяет перспективность применения высоких давлений холодного изостатического прессования.

Список использованной литературы:

1. Акимов Г. Я. Явление самодеформирования при гидростатическом сжатии порошков, состоящих из ионно-ковалентных монокристаллов субмикронного размера. Физика Твердого Тела. – 1996. - т. 38. - №2. - с.654-658.
2. Акимов Г.Я. Холодное изостатическое прессование как способ получения керамических изделий с высоким уровнем физико-механических свойств. Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. - №8. - с.21-26.
3. Influence of cold isostatic pressing on compaction and properties of Mg-PSZ ceramics / Dušan Galusek, P. Znášik, Jan Majling // Journal of Materials Science Letters (August 1999). – P. 1346-1351.
4. Influence of cold isostatic pressing on the magnetic properties of Ni-Zn-Cu ferrite / Trong Trung Le, Zarel Valdez-Nava, Thierry Lebey [et al.] // AIP Advances 8, 047806 (2018). – Access mode: https://doi.org/10.1063/1.4994210
5. Gwan-Hyoung Lee, Sangho Park, Shinhoo Kang, Kyung-Hyun Chung, and Erique J. Lavernia. Processing Issues for Cryomilled WC-Co Nanopowders, Materials Transactions, Vol. 44, No. 10 (2003) 1935-1941.
6. Chen Zhang, Bingliang Liang, Yunlong Ai, Changhong Liu. Effect of Cold Isostatic Pressing on the Mechanical Properties of WC-8Co Cemented Carbide for Friction Stir Welding Tool Applied Mechanics and Materials Vol. 563 (2014) 107-111.
7. Преображенский А.А. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. – М.: Высш.шк., 1982. – 288 с.
8. Акимов Г.Я., Сторож В.В. Формирование свойств керамики из порошков MgO, полученной с использованием холодного изостатического прессования. Огнеупоры и техническая керамика. – 1999. – 1-2. - С.47-50.

УДК 621.375.826:621

Л.Ф. Головко, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, С.С. Салій, О.А. Литвиненко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ГНУТИХ БІМЕТАЛІВ ТА БІМЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ КУТОВОГО ТИПУ

Біметали – це матеріали, що складаються з двох чи більше металів або сплавів. Біметалічний прокат дозволяє отримати поєднання властивостей, які неможливо отримати в окремо взятому металі або сплаві: високу міцність з корозійною стійкістю, ударну в'язкість із зносостійкістю, міцність з високою тепло- та електропровідністю та інші. Біметали, як правило, складаються зі звичайних сталей основи та робочого матеріалу покриття з необхідними експлуатаційними параметрами. В основному біметали отримуються в вигляді листових матеріалів різних розмірів. Якщо із біметалів виготовляються конструкції замкнутого контуру є потреба в гнутих біметалах, та біметалах кутового типу, що спрощує отримання виробів замкнутого контуру.

Проблема виготовлення гнутих біметалів вирішується тим, що при їх отриманні з'єднання пластини основи та робочої пластини біметалу відбувається за рахунок потужної енергії, наприклад, електричної дуги чи лазерного випромінювання. Для потрапляння енергії для з'єднання пластин біметалу в місце їх контакту заздалегідь в пластині основи 1 в потрібних місцях виконують наскрізні технологічні отвори 2 (Рис. 1). Технологічні отвори 2 розміщують по можливості симетрично відносно лінії згинання 3 біметалу. В подальшому пластину основи 1 встановлюють на робочу пластину 4 біметалу. При цьому робоча пластина 4 в напрямку перпендикулярному лінії згинання 3 повинна бути дещо довшою пластини основи 1 з урахуванням заокруглення цих пластин при спільному їх згинанні.

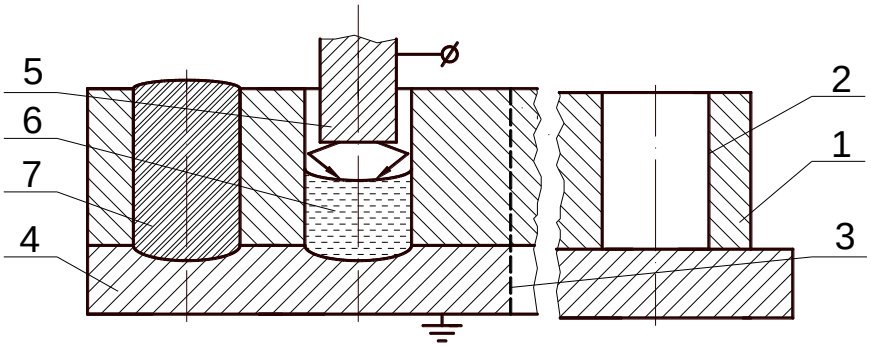


Рис. 1. З'єднання пластин біметалу на одному з його країв (до лінії згинання) потужним джерелом енергії.

Для здійснення зварювання електродуговою зваркою електрод 5 встановлюють в черговий технологічний отвір 2 до контакту з робочою пластиною 4. В зоні зварювання створюється ванна 6 рідкого металу, яка частково підплавляє поверхню робочої пластини 4 та бокових поверхонь технологічного отвору 2. Після заплавлення всього отвору 2 та затвердіння рідкого металу отримуємо зварний шов 7, який надійно скріплює пластини біметалу 1 та 4. Таке з'єднання пластин біметалу виконують тільки з одного краю пластин біметалу, лише до лінії його згинання. Це забезпечить при подальшому процесі згинання переміщення робочої пластини 4 відносно пластини основи 1 за рахунок різних радіусів заокруглення цих пластин при згинанні. Якщо ж пластини біметалу були б скріплені повністю, то при згинанні це призвело б до руйнування місць скріплення. В подальшому виконується процес згинання пластин біметалу на згинальному пресі. При цьому переміщення робочої пластини відносно пластини основи відбувається лише по другій (незакріпленій) стороні біметалу.

Після завершення згинання на потрібний кут пластини біметалу знову тимчасово скріплюються між собою механічними затискачами, і виконується з'єднання другої сторони біметалу за допомогою електродугового зварювання. В кінці бажано поверхню зварних швів 7 прошліфувати урівень з поверхнею пластини основи 1.

Для отримання виробу із біметалу кутового типу дві основи 1 з нанесеними на них спеціальним рельєфом 2 встановлюються перпендикулярно одна одній та з'єднуються між собою за допомогою, наприклад, зварювального шва 3. Такий кутовий виріб встановлюється у виливницю 4 на одну із основ 1, яка заливається шаром розплавленого робочого металу 5 для створення (після охолодження) біметалу на внутрішній стороні однієї із частин кутового виробу (Рис. 2). Для подачі робочого розплаву та рівномірного нанесення його на основу 1 служить засіб для заливки, який включає в себе лоток 6 та жолоб 7. Для запобігання додаткового охолодження робочого матеріалу в процесі заливки виливниця 4 може рухатися (стрілка 8) зі швидкістю, як правило, рівною швидкості вільного розтікання робочого металу 5 по основі 1. Щоб забезпечити потрібну висоту та рівномірність робочого шару біметалу може бути використаний шкребок 9, який можна розмістити, наприклад, на лотку 6. Після затвердіння та отримання робочого шару на одній стороні кутового виробу виріб перевертається, і у виливницю 4 вставляється друга сторона виробу. Процес заливки робочим металом виконується і на цій стороні. В результаті отримуємо кутовий біметалічний виріб з робочою внутрішньою поверхнею.

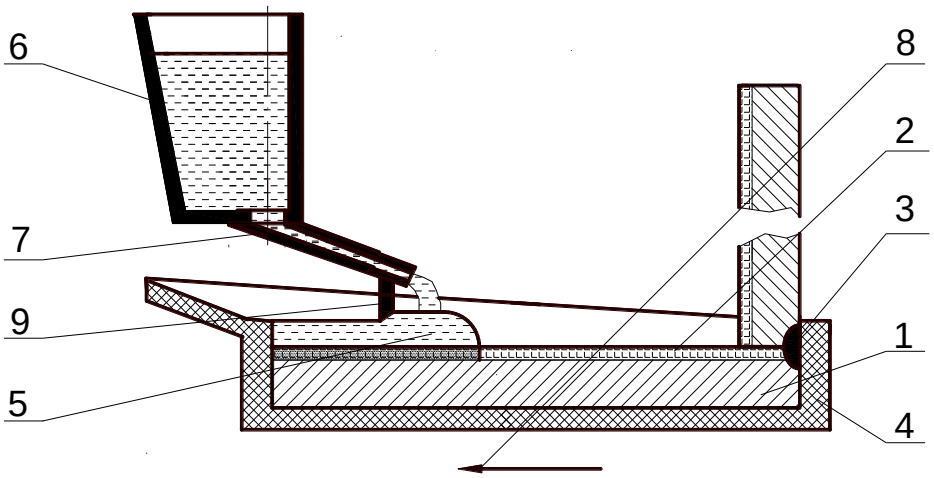


Рис. 2. Пристрій з встановленим в нього кутовим виробом для заливки однієї з основ робочим шаром.

На поверхні основи 1, що підлягає заливці, створюється спеціальний рельєф 2 у вигляді, наприклад, окремих острівків чи смуг та борозен між ними, з розмірними параметрами, які підбираються, виходячи із наступних умов. По-перше, ширина борозни повинна бути достатньою, щоб в неї зміг затекти робочий розплав. Експериментальні дослідження показують, що борозни, шириною 0,5…2,0 мм задовольняють цій умові. По-друге, глибина борозни - достатньою, щоб товщини створюваного перехідного шару між основою та робочим металом вистачало для їх надійного зчеплення. Експериментально встановлено, що при глибина в 0,2…0,7 мм (не залежно від товщини основи та робочого шару) таке зчеплення має місце. І насамкінець, ширина острівку чи смуги вибирається із наступних міркувань: тепла робочого матеріалу, що заповнив борозну повинно бути достатньо, щоб розплавити весь острівок чи смугу. Очевидно, що при цьому робочий матеріал повинен бути декілька перегрітий по відношенню до температури плавлення основи.

Таким чином, виготовлення гнутих біметалів та біметалів кутового типу істотно розширює можливості свого застосування за рахунок спрощення і здешевлення технології отримання таких матеріалів, забезпечує надійне з'єднання його пластин.

УДК 621.375.826:621

Л.Ф. Головко, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, С.С. Салій, І.В. Свічкар
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПЕРЕХІДНОЇ ЗОНИ ПРИ ЛАЗЕРНО-ЛИВАРНОМУ МЕТОДІ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ

Все більші можливості реалізації новітніх технологій дає застосування біметалів. Біметали застосовуються в багатьох галузях промисловості: корозійностійкий біметал використовується для виготовлення корпусів нафтохімічного і атомно-енергетичного устаткування; антифрикційні біметали — при виготовленні підшипників ковзання; біметали з особливими властивостями — при виготовленні вузлів ракетно-космічної техніки. В останній час для отримання біметалів інтенсивні роботи ведуться при використанні лазерного променю у поєднанні з ливарним процесом.

Для реалізації лазерно-ливарної технології виробництва біметалів розроблена комбінована схема. Розв’язок теплової задачі числовими методами дозволив встановити вплив розподілу, густини потужності і швидкості руху лазерного променю на розміри сформованого мікрорельєфу на поверхні матеріалу основи. Це дає можливість формування мікрорельєфу майже одночасно з подачею попередньо нагрітого металу для отримання спільної перехідної рідкої зони, за рахунок оплавлення створеного мікрорельєфу перегрітим металом, що гарантуватиме взаємне перемішування двох матеріалів з утворенням металургійного зв’язку. Подальше поступове контрольоване охолодження, з використанням допоміжного індукційного нагрівання, зменшить можливі деформації через зменшення залишкових напружень у перехідній зоні.

Результатом цих досліджень став комбінований послідовний процес лазерно-ливарного наплавлення з застосуванням допоміжного індукційного джерела, при цьому функції, послідовність та час дії джерел енергії чітко розмежовані. Сформований спеціально розробленою фокусуючою системою лазерний промінь створює необхідно-заданий мікрорельєф на поверхні матеріалу основи, формуючи необхідну площу зони теплового контакту для подачі розігрітого попередньо матеріалу.

Одночасно з формуванням заданого мікрорельєфу на поверхні матеріалу основи, по жолобу починає рух розплавлений попередньо індукційним джерелом необхідний матеріал, який оплавляє створюючи спільну ванну розплаву.

Основними перевагами даного процесу є універсальність, можливість ощадливого і раціонального використання дорогих і дефіцитних матеріалів, ресурсо - і енергозбереження, мінімальний вклад енергії в основу деталі, на яку проводиться наплавлення, екологічна чистота, можливість повної автоматизації. Можливість реалізувати одночасну, або послідовну, подачу кількох різних матеріалів для створення спеціальних багатошарових елементів деталей машин чи устаткування.

Для формування необхідного заданого розподілу лазерного променю на поверхні матеріалу основи було проаналізовано можливість використання як механічних скануючих систем, так й адаптивних комбінованих оптичних систем. Можливість автоматичної зміни параметрів лазерного променю адаптивними фокусуючими системами підчас роботи дає змогу контролювати розміри та геометрію створеної перехідної зони. Це зменшує витрати на обладнання при реалізації широкого діапазону товщин та геометрії біметалевих шарів з гарантованим металургійним зв’язком.

Таким чином, застосування адаптивного фокусуючого обладнання для лазерного нагрівання при лазерно-ливарному методі отримання біметалічних матеріалів цілком реалізовується технологічно і забезпечує надійне з'єднання між шарами матеріалів, які входять до складу різних біметалів, що дозволяє рекомендувати цей метод для подальшого доопрацювання і впровадження у виробництво.

УДК 623.983.4

М.В. Орлюк, В.В. Піманов, А.В. Савченко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОЛОДНОГО РОТАЦІЙНОГО ВИТЯГУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАСТИЧНОЇ І ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ МАТЕРІАЛУ

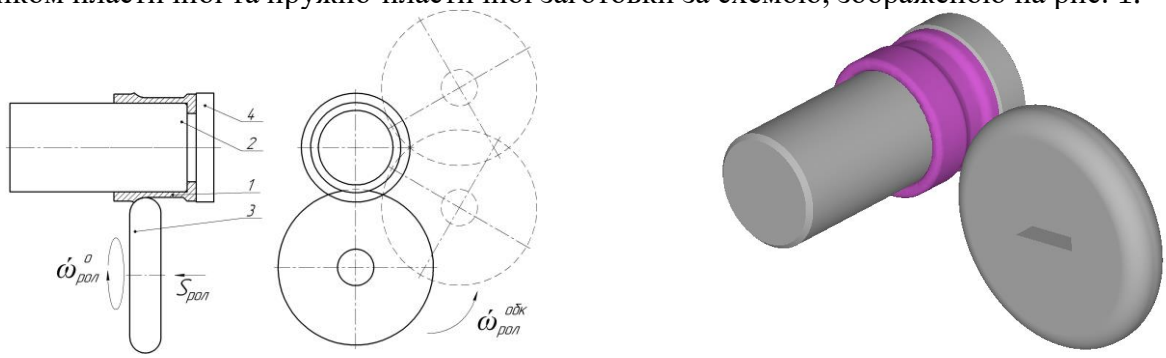
На сьогоднішній день актуальною залишається проблема скорочення часу підготовки виробництва і підвищення продуктивності виготовлення деталей. Для її вирішення широко використовують різноманітні програмні комплекси для чисельного моделювання процесів формоутворення такі як Deform 2D-3D, QForm 2D-3D, Ansys. Чисельне моделювання дозволяє оцінити переваги тієї чи іншої технології виготовлення за допомогою необхідної кількості чисельних експериментів та отримати максимально адаптовану до впровадження у виробництво технологію без значних матеріальних витрат на експерименти.

Особливо відчувається перевага чисельного моделювання при розробці та відпрацюванні процесів, які складно або неможливо описати існуючими аналітичними чи експериментально-аналітичними методами. Таким процесом є і ротаційне витягування, аналіз якого додатково ускладнюється наявністю осередку локальної деформації та складним характером напружено-деформованого стану матеріалу в осередку [1].

При чисельному моделюванні процесів обробки металів тиском використовують пластичну або пружно-пластичну модель матеріалу. Пружно-пластична модель у більшій мірі відтворює реальну поведінку матеріалу в процесі деформування та дозволяє за необхідності оцінити пружинення і залишкові напруження у здеформованій заготовці після розвантаження. Але при використанні пружно-пластичної моделі зазвичай суттєво збільшується час розрахунку через необхідність врахування в розрахунках пружних властивостей матеріалу та зростає ймовірність того, що при вирішенні задачі буде відсутня умова збіжності розрахунку. Використання пластичної моделі матеріалу зазвичай дозволяє виконати розрахунок у більш стислі терміни, проте отримані результати є наближеними та неповними [2]. Однак у більшості випадків похибки розрахунків є несуттєвими, а точність отриманих результатів - прийнятною. Тому вирішення питання вибору тієї чи іншої моделі матеріалу є важливим моментом при розробці математичної моделі процесу.

Метою даної роботи є вибір оптимальної моделі матеріалу для чисельного моделювання процесів ротаційного витягування в середовищі Deform 3D.

Для вибору оптимальної моделі в роботі було виконано чисельне моделювання в програмному комплексі Deform-3D [3] ротаційного витягування з одним деформуючим роликом пластичної та пружно-пластичної заготовки за схемою, зображеною на рис. 1.



а б

Рис. 1. Схема ротаційного витягування одним деформуючим роликом:
а – розрахункова схема процесу, б – схема для проведення моделювання
1 – заготовка, 2 – оправка, 3 – ролик, 4 – фіксатор

В прийнятій схемі (на відміну від реального процесу ротаційного витягування) центральна оправка 2 нерухома, а торець заготовки 1 зафіксований від вільного повороту відносно осі центральної оправки фіксатором 4. Ротаційне витягування здійснюється за допомогою обертання ролика 3 відносно осі заготовки та його повздовжнього переміщення. Форма заготовки (рис. 2) дозволяє моделювати безпосередньо процес ротаційного витягування без стадії вдавлювання ролика в заготовку. Відсутність обертального руху заготовки як головного дозволяє за результатами моделювання оцінити поведінку матеріалу заготовки в процесі пластичного деформування: переміщення точок, їх швидкість та характер руху.

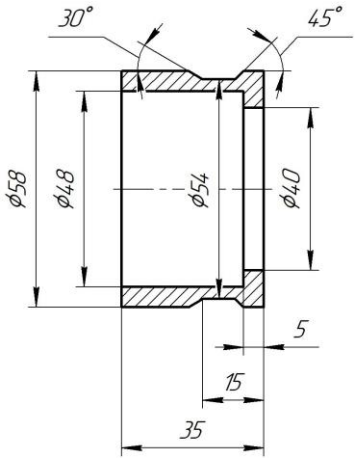


Рис. 2. Заготовка для ротаційного витягування.

В процесі моделювання в якості матеріалу заготовки використовувалась сталь 10. Коефіцієнт тертя між заготовкою та інструментом $\mu = 0{,}1$. Кількість обертів ролика відносно осі заготовки – $n_{рол}^{обк}$ =60 хв-1 ($\omega_{рол}^{обк} = 6{,}28$ рад$^{-1}$.) Вісьове переміщення $S_{рол} = 0{,}25$ мм/об. Крок моделювання складає $t = 10^{-3}$ с/крок. Кутова швидкість обертання ролика відносно своєї осі визначається автоматично в процесі розрахунку (до ролика прикладено невеликий крутний момент) виходячи з умов деформування матеріалу заготовки в осередку.

Ступінь потоншення заготовки $\varepsilon_{заг}$ [4] може бути визначена за формулою (1):

$$\varepsilon_{заг} = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100\% \qquad (1)$$

, де S_0 – товщина стінки вихідної заготовки

S_1 – товщина стінки після ротаційного витягування

$$\varepsilon_{заг} = \frac{5-3}{5} \cdot 100\% = 40\%$$

Результати моделювання ротаційного витягування пластичної заготовки представлені на рис. 3-6.

Як видно з рис. 3-4 переміщення відбуваються тільки в прилеглих до деформуючого ролика областях без видовження заготовки в процесі деформування. Аналіз сумарних переміщень при ротаційному витягуванні заготовки для пластичної моделі матеріалу (рис. 5) показує, що точки рухаються прямолінійно. При цьому основний об'єм металу витісняється в напрямку переміщення ролика, а невелика частина – у зворотному напрямку. Оскільки видовження заготовки не відбувається, то практично весь витіснений об'єм іде на утворення напливу і його постійне збільшення (рис. 6).

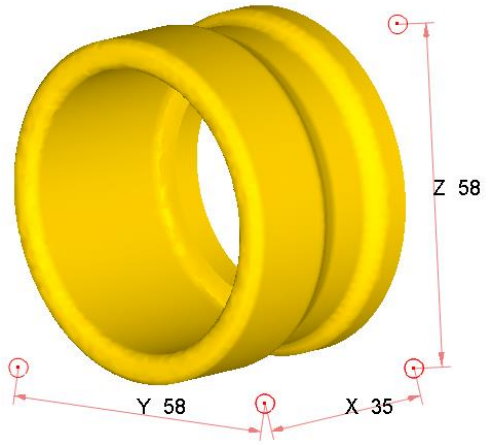


Рис. 3. Вихідна пластична заготовка

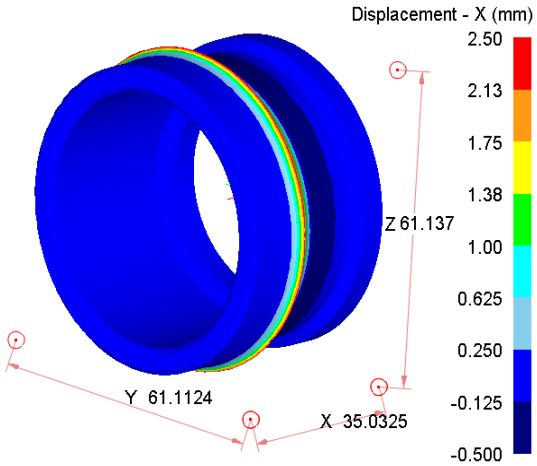
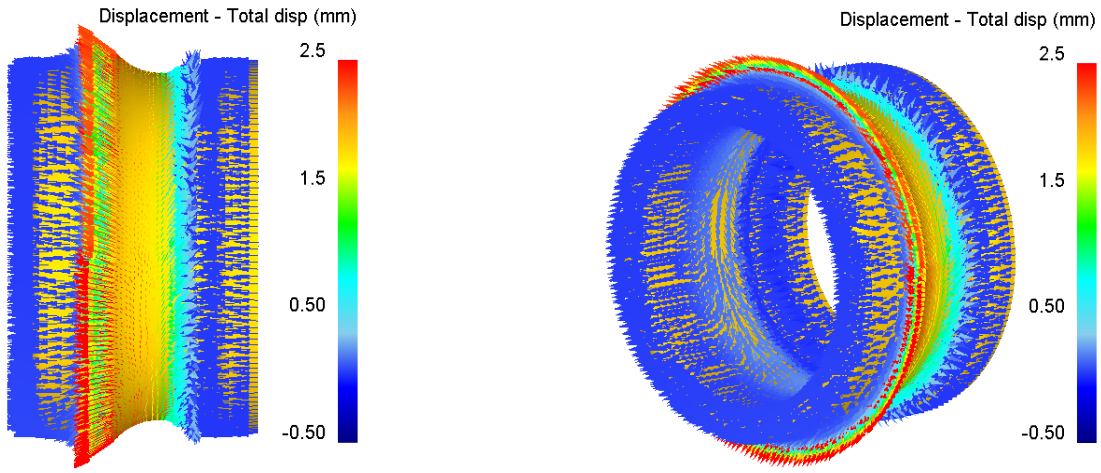
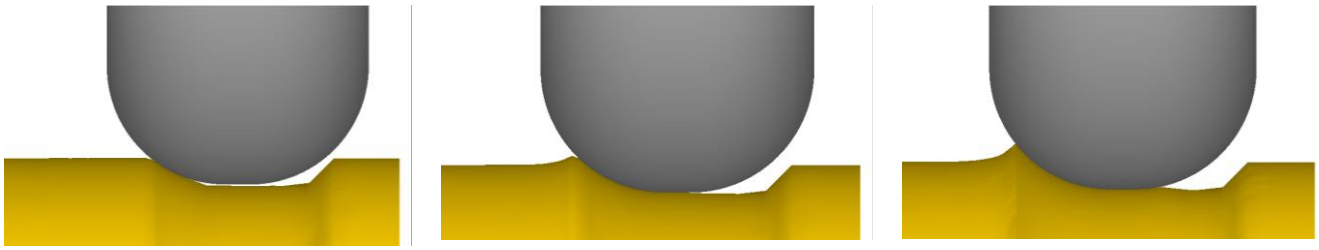


Рис. 4. Розподіл вісьових переміщень при ротаційному витягуванні пластичної заготовки:



а б

Рис. 5. Розподіл сумарних переміщень при ротаційному витягуванні пластичної заготовки:
а – вигляд збоку, б – вигляд в аксонометрії



а б в

Рис. 6. Послідовність утворення напливу у пластичній заготовці:
а – вихідна заготовка, б – початок деформування, в – утворення значного напливу

Результати моделювання ротаційного витягування пружно-пластичної заготовки представлені на рис. 7-10.

При ротаційному витягуванні пружно-пластичної заготовки, переміщення відбуваються по всьому об’єму металу перед деформуючим роликом (рис. 7-8). Розподіл сумарних переміщень при ротаційному витягуванні заготовки для пружно-пластичної моделі матеріалу (рис. 9) показує, що метал рухається вздовж вісі заготовки з одночасним закручуванням. Крім того, у місці виходу металу з-під деформуючого ролика утворюється кільцевий поясок, де відбувається видовження заготовки по всьому його периметру, що призводить до збільшення поздовжніх розмірів заготовки. На відміну від пластичної заготовки, у пружно-пластичній спостерігається утворення постійного по розмірам напливу (рис. 10).

Рис. 7. Вихідна пружно-пластична заготовка

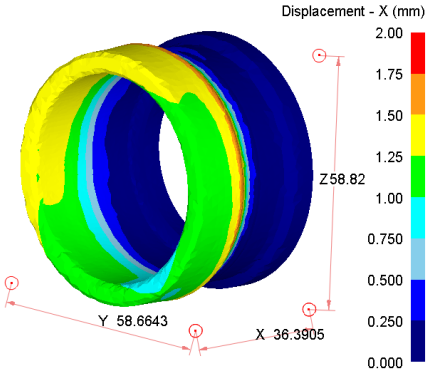
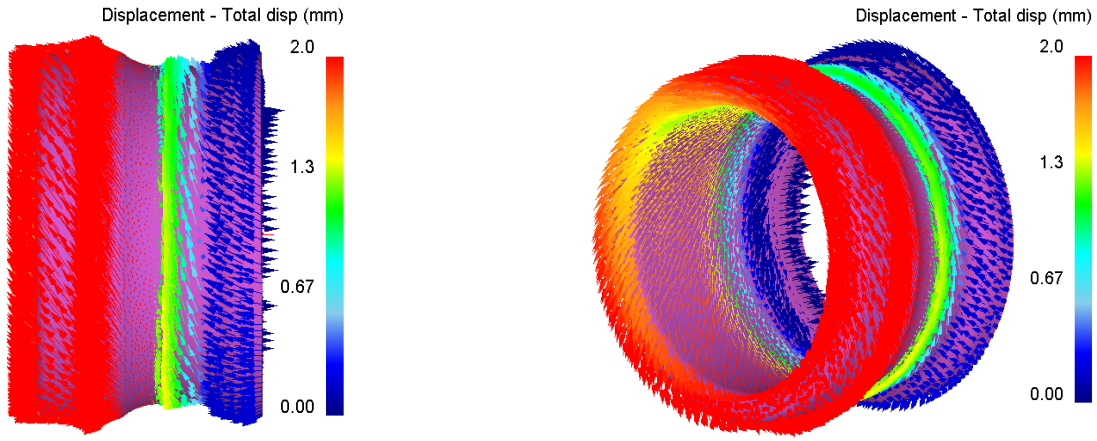
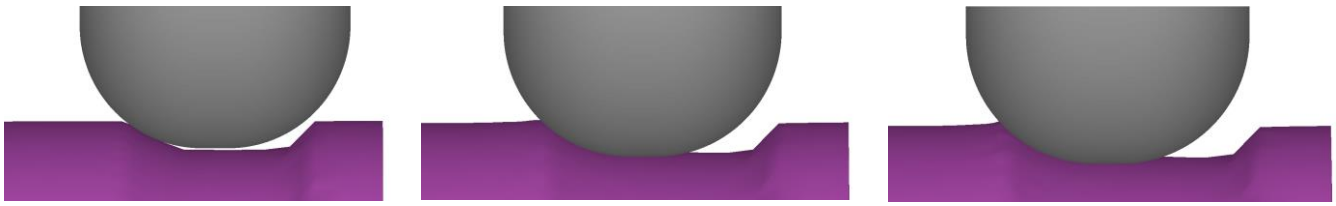


Рис. 8. Розподіл вісьових переміщень при ротаційному витягуванні пружно-пластичної заготовки



а б

Рис. 9. Розподіл сумарних переміщень при ротаційному витягуванні пружно-пластичної заготовки: а – вигляд збоку, б – вигляд в аксонометрії



а б в

Рис. 10. Послідовність утворення напливу у пружно-пластичній заготовці: а – вихідна заготовка, б – початок деформування, в – утворення напливу

Подальші дослідження потребують вибору оптимальної моделі матеріалу. Для цього необхідно оцінити відповідність поведінки моделей, що досліджувались, реальному процесу ротаційного витягування.

Реальний процес характеризується витіканням металу в напрямку, протилежному до переміщення деформуючого ролика, що забезпечує приріст довжини заготовки. Одночасно, в зоні контакту ролика із матеріалом заготовки відбувається інтенсивна течія металу у вільну зону перед роликом, в результаті чого утворюється наплив. Також для реального процесу характерне закручування металу, що знаходиться перед деформуючим інструментом [4]. За результатами моделювання видно, що при використанні пластичної моделі в процесі деформування відбувається постійне збільшення розмірів напливу без збільшення довжини заготовки та без її закручування. Пружно-пластична модель у свою чергу дозволяє оцінити такі особливості процесу як поведінка матеріалу перед деформуючим роликом, в осередку деформації та поза його межами, а також закручування і видовження заготовки.

ВИСНОВКИ. Результати чисельного моделювання ротаційного витягування встановили різну поведінку пластичної і пружно-пластичної моделі матеріалу в процесі деформування. Поведінка пластичної моделі матеріалу показала повну невідповідність змодельованого процесу реальному. У той же час пружно-пластична модель матеріалу достатньо точно відтворює нюанси реального процесу, що дозволяє використовувати її для моделювання процесів ротаційного витягування у програмному комплексі Deform 3D.

Список використаних джерел

1. Ротационная вытяжка цилиндрических изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками. Ларина М. В., Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Тула, 2005. – 20 с.
2. Практическое руководство к программному комплексу Deform-3D: учебное пособие / В.С. Паршин, А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, А.И. Пугин, А.А. Федулов. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 266с.
3. Deform-3D – мощная система моделирования технологических процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tesis.com.ru/software/deform.
4. Юдин Л. Г., Яковлев С. П. Ротационная вытяжка цилиндрических оболочек. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с., ил.

UDC 621.77

I.V. Dobrov, A.V. Semichev, E.P. Morozenko, A.V. Koptilyy
National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepr

TO THE QUESTION OF KINEMATICS OF THE DEFORMATION ZONE DURING PRESSING OF THE STRIP

Introduction. A promising direction in the process of pressing the strip is the use of non-driven rollers for the formation of moving contact surfaces of the deformation zone. Compared with pressing in draw plates the use of non-driven rollers ensures reduction of energy consumption for shaping the workpiece. It increases the service life of the deforming tool when replacing sliding friction in the deformation zone by rolling resistance in bearings of rotating rollers [1-3].

The aim of the work. Determination of the characteristic features and general laws of the kinematics of the workpiece during the pressing of the strip in the deformation zone of the draw plate and non-driven rollers.

Solving of the task. Let us consider (fig. 1) the processes of the workpiece *1* (strip with width $b=1$) in the draw plate 2_d (fig. 1, *a*) and non-driven rollers 2_R (fig. 1, *b*) in the conditions of the plane strain [3-5].

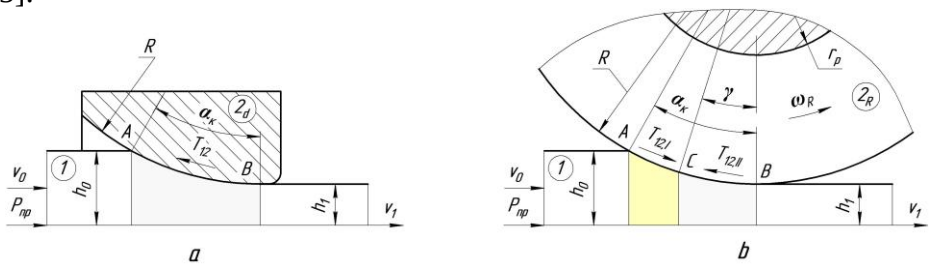


Fig. 1. The schemes of pressing in the draw plate (*a*) and non-driven rollers (*b*)

On the fig. 1 is indicated by P_{pr} - force of pressing; v_0 and h_0, v_1 and h_1 - respectively, the speed and height of the workpiece at the entrance to the deformation zone, the speed and height of the workpiece at the exit of the deformation zone, α_k - the contact angle of the tool and the workpiece in the deformation zone; ω_R - roller rotation speed 2_R; γ - neutral angle; $T_{12,I}$ - sliding friction force acting on the workpiece *1* from the roller 2_R on the area $A\breve{C}=R\cdot(\alpha_к-\gamma)$ of «lag» zone of the workpiece in the deformation zone; $T_{12,II}$ - sliding friction force acting on the workpiece *1* from the roller 2_R on the area $C\breve{B}=R\cdot\gamma$ of the «advance» zone of the workpiece in the deformation zone; T_{12} - sliding friction force acting on the workpiece *1* from the draw plate 2_d.

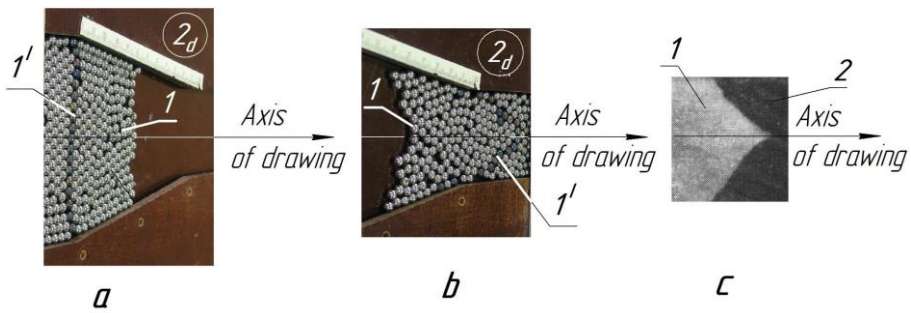


Fig. 2. The change of the shape of vertical layer of the material during rolling: at the entrance (*a*) and at exit (*b*) from the draw plate; the change of the shape of the drawn vertical square butt joint [4] made of aluminum *1* and copper *2* (*c*)

In [6,7] it was shown that the motion of elementary volumes of the workpiece material in the deformation zone of a monolithic conical draw plate can be simulated by moving the centers of mass of these volumes (fig. 2) in the form of magnetized colored balls 1 and $1^{/}$ of the mechanical model of the deformation zone when drawing [8,9].

Obviously, in a similar way, it is possible to simulate the motion of elementary volumes of the workpiece material during pressing in a draw plate and non-driven rollers using a mechanical model (fig. 3).

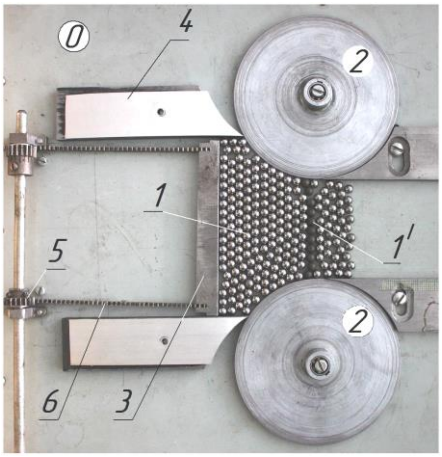


Fig. 3. Model of kinematics of deformation zone during pressing of the strip

The model consists of frame 0 with moving rollers 2. When braking rollers ($\omega_p = 0$) it will be received rollers 2_d, which represent the axial section of the draw plate 2_d (fig. 1, *a*).

During rotation (ω_p) of the rollers it form axial section of the deformation zone 2_R (fig. 1, *b*). The centers of mass of the elementary volumes of the workpiece material 1 (fig. 1) in the deformation model (fig. 3) is represented by white metal balls for the base material (1) and black balls $1^{/}$ for the researched layer in the deformation zone. The workpiece material (balls 1 and $1^{/}$) in the deformation zone is moved by tool 3, which is located in the container (frames 4). This tool is driven by the gear train, which consists of two gears 5 and two moving gear racks 6, which connected by the tool 3.

Results of research. On the fig. 4 *a, c* photos of the position of the vertical layer of the

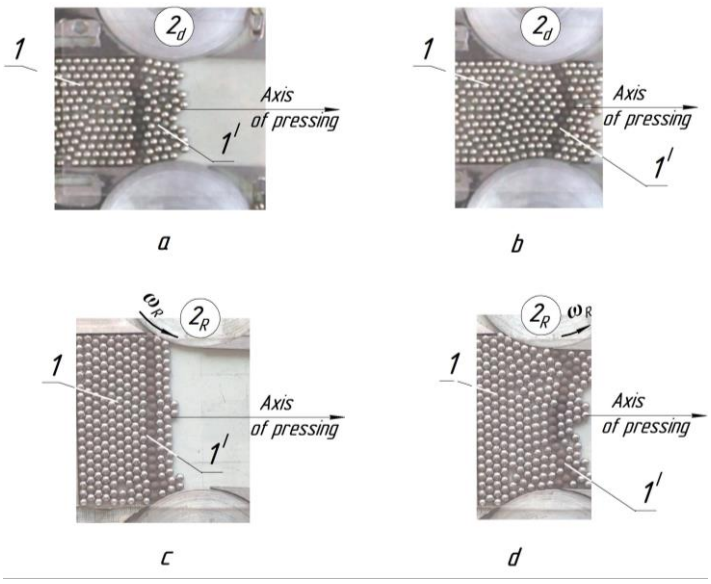


Fig. 4. The change in the shape of the vertical layer of the workpiece material in the axial section of the deformation zone in the draw plate (*a*, *b*); in the non-driving rollers (*c*, *d*)

workpiece material at the entrance to the draw plate 2_d and to the non-driving rollers 2_R are presented. On the fig. 4 *b*, *d* is shown the position of these layers at the exit from the draw plates 2_d and non-driving rollers 2_R.

The discussion of the results. During pressing the strip the vertical layers of the workpiece material in the axial section of the deformation zone with fixed contact surfaces (draw plate) and moving (non-driven rollers) changes its shape.

The shape of the deformed layer of the workpiece in the axial section of the deformation zone at the exit of the draw plate always has a crowning in the direction of pressing. In non-driven rollers, due to the action of friction in the «lag» zone of the workpiece in the direction of pressing the distortion of the shape of the vertical layer of the workpiece decreases.

The change in the shape of the vertical layer of the workpiece in the axial section of the deformation zone during pressing is always less than the change in the shape of the vertical layers of the workpiece when drawing in a similar deformation zones.

Conclusions.

Regardless of the characteristics of the deformation zone and the conditions of pressing the strip (friction coefficient and value of deformation) in the axial section at the exit of the deformation zone, the shape of the vertical layer of the workpiece material changes.

With increasing strip reduction, the change in the shape of the vertical layer of the workpiece at the exit from the deformation zone increases.

With an increase in the friction coefficient in the draw plate, the change in the shape of the vertical layer of the material of the workpiece at the exit from the deformation zone increases. In non-driven rollers the friction coefficient does not have a significant effect on the change in the shape of the vertical layer of the material of the workpiece in the deformation zone.

References

1. Levanov A.N. Contact friction in metal forming processes / A.N. Levanov, V.L. Kolmogorov, S.P. Burkin, B.R. Kartak, Yu.V. Ashpur, Yu.I. Spassky - M .: Metallurgy, 1975. - 352 p.
2. Aliyeva L. I. Deformation pressure with direct extrusion through a rounded matrix / L.I. Aliyev, A.V. Titov // Materials of the X International Scientific and Technical Conference "Resource Saving and Energy Efficiency of Processes and Equipment for Pressure Processing in Mechanical Engineering and Metallurgy" November 21-23, 2018. - Kharkiv, 2018. - P. 16-17.
3. Storozhev M.V. Theory of metal forming / M.V. Storozhev, E.A. Popov. - M.: Mechanical Engineering, 1977. - 423 p.
4. Perlin I.L. Wire drawing / I.L. Perlin, M.Z. Yermanok. - M .: Metallurgy, 1971. - 448 p.5. Dobrov I.V. Power Parameters of the Drawing Process in a Roller Die / I.V. Dobrov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2009. Vol. 50. – № 3. - pp. 221–227.
5. Dobrov I. V. On Kinematics - of Stock Deformation Process during Drawing / I. V. Dobrov // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – Pp. 760–770.
6. Dobrov I.V. To the question of the mechanics of the processes of working of materials by pressure in the stationary deformation zones / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, O.P. Morozenko, O.V. Koptilyy // International Scientific and Technical Conference "Progressive Technology Technology and Engineering Education", Volume 1, Kyiv, 19-22 June 2018: Materials of the Conference - Kyiv: 2018. - pp. 137-140.
7. Dobrov I.V. Optical method of physical simulation of local deformation during strip drawing using monolithic tool / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, E.P. Morozenko, A.V. Koptilyy // Working of materials by pressure. - Kramatorsk: DGMA, 2018. - No. 2 (47). - pp. 26-30.– ISSN 2076-2151.
8. Pat. 118653 Ukraine, MPC G01B11 / 16. A method for modeling the kinematics of local plastic deformation / I. V. Dobrov, A. V. Semichev, I. I. Getman (Ukraine). – No u201610915; posted 31 of October 2016 ; publ. 28 of August 2017, Bul. No. 16. – 3 p.

УДК 621.9

В.О. Горохов
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ФІНІШНА ОБРОБКА ПОВЕРХНІ МЕХАНІЗМУ НИЖНЬОГО БОЮ ТКАЦЬКОГО ВЕРСТАТУ

Робота відноситься до галузі текстильного машинобудування, конструкцій приводних систем. Застарілі, низько ефективні технології, енергоємне обладнання легкої промисловості, безгосподарне ставлення до енергоресурсів призвели до того, що енергоємність вітчизняної продукції набагато перевищує енергоємність продукції розвинених держав світу. Це призводить до того, що багато видів продукції не конкурентоспроможні на світових ринках.

Широкі можливості економії матеріальних і енергетичних ресурсів в легкій промисловості пов'язані зі специфікою роботи електроприводів.

Усі механічні характеристики приводу повинні бути досить стабільними - підтримуватися на заданому рівні тривалий час в умовах частих зупинок і пусків обладнання. Тенденції підвищення продуктивності обладнання за рахунок зростання частоти обертання головного валу, збільшення заправної ширини і розширення їх асортиментних можливостей ставлять привід в важкі динамічні умови, підвищують вимоги до його конструкції.

Інша суттєва особливість - висока кінематична складність робочих органів машин і динамічна напруженість режимів їх роботи.

Сучасною тенденцією в практиці виробництва і експлуатації ткацького обладнання, є цілеспрямоване підвищення якості поверхонь контактуючих деталей, яке визначається, в першу чергу, макро- і мікрогеометрією поверхні, напружено-деформованим станом, структурою і фізико-хімічними особливостями поверхневого шару.

У зв'язку з цим однією з найбільш важливих і актуальних проблем технології машинобудування є створення і застосування нових, науково обґрунтованих, технічно доступних, екологічних та економічно доцільних технологічних процесів обробки робочих поверхонь деталей ткацьких машин для підвищення їх працездатності і надійності.

Для деталей, що працюють в умовах контактної взаємодії, (деталей пар тертя), ця проблема зумовлює необхідність вдосконалення відомих і розробки нових технологічних процесів фінішної обробки, що дозволити керувати якісним станом поверхні і поверхневого шару.

Об'єкт дослідження.

Бойовий механізм ткацького верстата призначений для прокидання човника через зів. Він працює в умовах великих динамічних дій, і тому деталі його сильно деформуються і зношуються, а іноді навіть ламаються. З усіх деталей ткацького верстата термін служби цих деталей найменший; на швидкість зношування, їх великий вплив, робить нерівномірність ходу верстата.

Разом з тим, у міру зношування деталей бойового механізму нерівномірність ходу верстата збільшується; більше 30% всіх простоїв через розлади ткацьких верстатів викликаються розладами бойового механізму.

Залежно від розташування в верстаті розрізняють бойові механізми нижнього, середнього і верхнього бою.

На рис. 1 представлений механізм нижнього бою разом із закріпленим на ньому роликом, призначений для приведення в рух бойового механізму. Маховик кріпиться на середньому валу за допомогою шпонки і стопорного гвинту.

Типові несправності маховика є: розкол обода в місці закріплення бойового ролика. М'яття паза під бойовий шпиндель, тріщини в спицях і маточини (тумбі), знос торця.

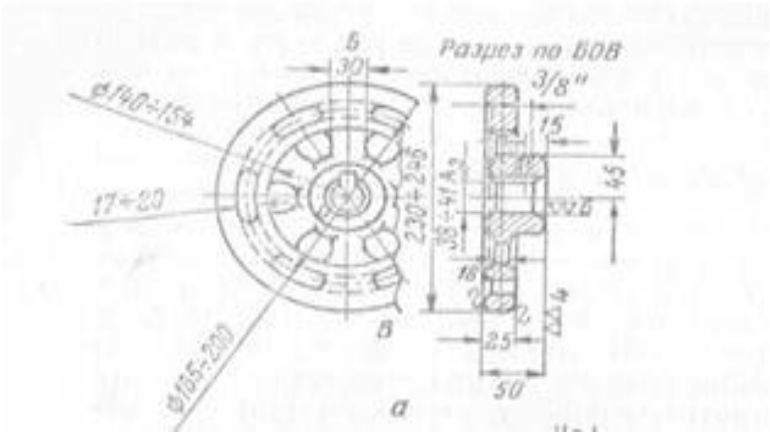


Рис. 1. Механізм нижнього бою

Постановка задачі

Аналіз існуючих методів фінішної обробки поверхні механізму нижнього бою ткацького верстата. Застосування новітніх методів обробки поверхні, які дозволять підвищити продуктивність процесу і якість зміцнення поверхні механізму нижнього бою ткацького верстату.

Викладання основного матеріалу.

Одним з перспективних методів, що дозволяють вирішити поставлені завдання, є новий, простий у виконанні, економічно ефективний, високопродуктивний і екологічно чистий спосіб зміцнюючої обробки деталей з одночасним нанесенням антифрикційних композиційних покриттів. В основі методу лежить поверхневе пластичне деформування (ППД). Запропонований метод дозволяє, варіюючи складом покриття і технологічними режимами обробки, отримати поверхню з необхідними фізико-механічними і трибологічних властивостями.

Область ефективного застосування і методи ППД безперервно розширюється [2]. При вигладжуванні параметр шорсткості поверхні залежить від його вихідного параметра, при цьому досягається стабільне зменшення шорсткості до Ra = 0,04 ÷ 0,07 мкм. В результаті обробки мікроструктура поверхні механізму нижнього бою значно поліпшується - збільшується твердість, сприятливий мікрорельєф, всі ці якісні показники сприяють підвищенню зносостійкості, витривалості і втомної міцності деталі.

Широке застосування в якості фінішної обробки отворів знаходить високопродуктивний спосіб ППД - деформуюче протягування, що застосовується для отримання підвищеної точності розмірів і шорсткості поверхні (Ra = 0,16 - 0,32 мкм) [3]. Можливість здійснення великих пластичних деформацій робить доцільним використання деформуючого протягування не тільки у вигляді фінішної, але і в якості чорнової операції.

Зміцнення деталей ППД знайшло застосування для різноманітних поверхонь — як внутрішніх, так і зовнішніх — циліндричних, конусних, сферичних, фасонних, зубчатих, плоских. [8].

Перевагою цього методу є те, що твердість поверхневого шару підвищується на 20–50 %, глибина зміцненого шару складає 0,5–3,0 мм, а шорсткість Ra 0,53 мкм.

Недоліком цього методу є те, що необхідна подальша механічна обробка на допустиму глибину до 0,5 мм.

Ефективним способом підвищення якості поверхневого шару, а також підвищення площі контакту до 100 % є метод вібраційного накатування, який дає можливість підвищити однорідність мікрорельєфу поверхні деталей і керування мікрорельєфом (регулювання розмірів,

форми і взаєморозташування мікронерівностей), що в свою чергу покращує найважливіші експлуатаційні властивості деталей машин [7].

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

Проведений літературний огляд і аналіз відомих методів зміцнювальної обробки деталей текстильного машинобудування, засвідчує, що одним із найактуальнішим і найефективнішим методом зміцнення поверхні механізму нижнього бою, є метод ППД, а саме вібраційне накатування. Цей метод зменшує шорсткість, дозволяє отримувати потрібні параметри мікрорельєфу, глибину зміцнення поверхневого шару, мікротвердість поверхні. А також завдяки застосуванню вібраційного накатування забезпечуються необхідні параметри мікрорельєфу та якості поверхневих шарів, що сприяє покращенню фізико-механічних і експлуатаційних властивостей, а також геометричних параметрів робочих поверхонь.

Список використаних джерел

1. Орнатская В.А. Проектирование и модернизация ткацьких машин./ В.А. Орнатская, С.С. Кивилис. –М: Легпромбытиздат, 1986. – 293.
2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. –М: Машиностроение, 1987. – 329 с.
3. Розенберг А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания/А.М. Розенберг, О.А. Розенберг. – К.: Наукова думка, 1990. -320 с.
4. М.И. Черновол. Повышение качества финишной обработки отверстий / М.И. Черновол, И.В. Шепеленко, Р.Ф.Будар Мохамед – Кировоградский національний технічний ун-т//Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, 2016 col.29.
5. Черновол М.И. Комбинированный метод обработки поверхностей трения./М.И. Черновол, И.В. Шепеленко и др.//Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету “Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». 2011. – Вип.24(2). с.13-16.
6. Шепеленко И.В. Образование антифрикционного покрытия финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработкой //Вібрації в техниці та технологіях. – 2013. - №3(71). –с. 99-104.
7. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: науч. Изд./В.Ф. Федоренко, М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, Д.С.Буклагин, И.Г. Голубев, С.А. Ищенко. –М: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. -312с.
8. Дерефінка І. С. Стан і аналіз сучасних методів підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням / І. С. Дерефінка // Вісн. Нац. Ун-ту «Львівська політехніка». Сер. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. — 2007. — № 583. — С. 18–24.
9. Киричок П. О. Зміцнення поверхонь металевих деталей : навч. посіб. /П. О. Киричок, В. Г. Олійник, Т. Ю. Киричок. — К. : Преса України, 2004. — 240 с.
10. Технология упрочнения машиностроительных материалов : учеб. Пособие справ. / В. Д. Евдокимов, Л. П. Клименко, А. Н. Евдокимова. — К. : Профессионал, 2006. — 352 с.
11. ГОСТ 18296–72. Обработка поверхностным пластическим деформированием. Термины и определения. — Введ. 1972.12.25. — М. : Изд. стандартов, 1972. — 13 с.
12. Справочник металлиста в пяти томах. — Т. 5 ; под ред. канд. техн. Наук А. Н. Малова. — М. : Машгиз, 1960. — 1184 с.
13. Гордеев В.А. Хлопкоткачество./ Гордеев В.А., Волков П.В., Блинов И.П., Святенко М.В. –М: Легкая и пищевая пром.-сть, - 424 с.

УДК 621.91.01

О.В. Грубник, В.О. Сошко
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

КВАНТОВІ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК В ОБЛАСТІ РОЗКРИТТЯ НОВОЇ ПОВЕРХНІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДЕФОРМАЦІЮ І РУЙНУВАННЯ ТВЕРДОГО ТІЛА В УМОВАХ ЙОГО ВЗАЄМОДІЇ З СЕРЕДОВИЩЕМ

Аналіз результатів застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС) в механічній обробці твердих і особливо пружно-в'язких матеріалів, до яких відноситься значна частина оброблюваних різанням металів, а також експериментальні дані по дослідженню даної проблеми свідчать про те, що одночасно з адсорбційним зниженням міцності металу протікають інші, непомітні на макрорівні процеси, яківідіграють, як виявилося, основну роль у ефектах, що спостерігаються при застосуванні МОТС. Було встановлено, що реєстровані результати впливу середовища на фізико-механічні властивості металу насправді викликані контактними взаємодіями електрично активних частинок водню (протонів) з електрично активною структурою матеріалу, що утворюється внаслідок механічного руйнування [1]. Оскільки ланцюг піролітичних перетворень вихідної органічної присадки призводить до утворення водню й вуглецю в атомарній та інших активних формах, була висунута гіпотеза про перманентну карбонізацію ріжучої кромки інструменту, насичення воднем матеріалу та активну участь водню в механохімічному процесі при металообробці в МОТС у припущенні, що такий процес стає можливим в результаті активації в зоні різання вуглеводневого середовища до рівня водневої плазми.

У зв'язку з таким трактуванням механізму впливу середовища, останнім часом серед величезного кола питань, які займають увагу дослідників, формується специфічний напрям досліджень, у яких особливості процесів деформації і руйнування твердого тіла в умовах оборотної взаємодії з середовищем пов'язуються з квантовими взаємодіями елементарних частинок в зоні подолання зчеплення між атомами[2]. Активація вихідного органічного середовища до утворення слабо іонізованого газу, а потім плазми, може бути результатом дії іонізаторів, які супроводжують процес різання. До їх числа можна віднести: температуру, каталітично активні щойно утворювані поверхні деформованого матеріалу, екзоелектронну емісію. Причому, процеси активації вихідного середовища будуть прискорюватися й електромагнітним полем, що утворюється в системі "верстат-інструмент-заготовка", а також внаслідок самоактивації і самоприскорення хімічних реакцій.

На відміну від загальноприйнятих уявлень, в яких ефект полегшення деформації і руйнування твердого тіла в умовах оборотної взаємодії з середовищем пояснюється зниженням поверхневої енергії, пропонована модель представляється як результат електродинамічних взаємодій електрично активних частинок з електрично активною реальною структурою матеріалу, що утворюється в процесі механічного руйнування, а також у зв'язку з тепловим ефектом, що виникає у процесі цих взаємодій. Таким чином, формується новий погляд на взаємодію системи «метал-середовище», починаючи від ініціювання хімічного перетворення вихідного середовища, подальшого хвильового поширення процесу хімічних реакцій з утворенням на кінцевому етапі електрично заряджених частинок, їх взаємодії з електрично активною реальною структурою деформованого тіла, які супроводжуються виділенням теплової енергії. Такий підхідвідкриває можливості, по-перше, вивчення в деталях актів хімічного перетворення середовища у новий фазовий іонізований стан, а по-друге, дослідження процесів, що безпосередньо впливають на деформацію і руйнування твердих тіл: взаємодію електрично активної структури матеріалу з зарядженими частинками. У свою чергу, розуміння механічної поведінки тіл, в умовах взаємодії з активними середовищами у масштабі елементарних частинок, повинно призвести не тільки до створення оптимальної технології формоутворення деталей, але й до розробки комплексних технологій, що дозволять у єдиній обробній операції в

спеціалізованих МОТС поєднувати процеси механічної та хіміко-термічної обробки виробів, що виготовляються.

В цілому, таким чином, механічну обробку в МОТС слід представляти не як чисто механічну, а як механоплазмову обробку (МПО).

Проте дослідження в цьому напрямку серйозно стримуються у зв'язку з надзвичайною складністю і різноманітністю досліджуваних об'єктів, процесів і явищ, що пов'язано з багатоплановістю, екстремальністю умов протікання процесу деформації і руйнування при різанні. В рамках даної роботи аналізуються, в основному, результати дослідження впливу середовища на процеси деформації і руйнування сталі при різанні, для чого було виділено ряд проблем, вирішення яких дало можливим просунутися у розумінні процесів. Серед них слід виділити щонайменше три найбільш важливих аспекти. По-перше, це з'ясування детального складу газоподібних продуктів перетворення в зоні різання різних органічних речовин, що становлять МОТС та проведення оцінки трибологічної активності цих газів. По-друге, дослідження перетворення утворюваного проміжного продукту у слабо іонізований газ, а потім й у плазму у вузькій зоні щілинного простору, обмеженого клином інструменту, вершиною тріщини та її берегами. І, нарешті, вивчення процесів взаємодії елементарних частинок між собою і з електрично активною структурою матеріалу, що утворюється в ході механічного процесу, а також оцінка впливу цієї взаємодії на полегшення деформування і руйнування тіла. Сюди ж відноситься дуже важлива проблема своєчасного переміщення електрично активних частинок в область матеріалу перед вершиною тріщини, де концентруються максимальні напруги.

Отримані експериментальні дані підтвердили основні положення гіпотези, що свідчить про перспективність нового підходу до дослідження руйнування твердого тіла в умовах впливу різних середовищ. Таким чином, неоднозначність в оцінці ролі адсорбційного ефекту зниження міцності твердих тіл у різних середовищах підвищує інтерес до цієї проблеми і стимулює подальші дослідження.

Результати початкових досліджень дозволили встановити два важливих факти: 1) теплові потоки в зоні різання дійсно викликають розкладання деяких органічних речовин, що входять до складу МОТС; 2) стружка й приповерхневі шари обробленого металу містять водень. Тобто, були отримані дані, що характеризують початковий і кінцевий етапи механізму впливу середовища.

Адсорбовані на гарячих поверхнях стружки та інструментуна першому етапі процесуактивації деякі розчинні і емульговані у МОТС компоненти в більшості своїй є органічними сполуками: низькомолекулярними, які містять до 85% атомів вуглецю і 14% атомів водню і високомолекулярними гомоцепними сполуками, побудованими також, в основному з атомів вуглецю і водню, проте вміст водню в них може перевищувати 50%. У результаті розкладання цих речовин утворюється три фази: водневмісна газова фаза, що представляє собою суміш водню в різних формах і гомологічного ряду аліфатичних граничних вуглеводнів (до C_4H_{10}), рідка вуглеводнева фаза, що складається з граничних вуглеводнів (до C_7H_{16}), а також тверда фаза у вигляді алотропічної модифікації вуглецю – графіту. Утворюваний водневмісний газ є проміжним продуктом в ланцюзі подальших його хімічних перетворень. Тверда графітна фаза відкладається на тертьових поверхняхі зменшує тертя. Крім цього, в екстремальних умовах процесу різання вуглець дифундує в робочі поверхні інструменту та оброблюваного матеріалу, компенсуючи втрату вуглецю ріжучих кромок інструменту, чим сприяє підвищенню його зносостійкості.

В розглянутих умовах деформування водень може дифундувати в об'єм металу, перебуваючи електрично активним, тобто в протонному стані. Водень в такому стані може утворюватися лише внаслідок хімічних перетворень проміжного продукту, отриманого на першому етапі активації середовища. Цей процес відбувається у вузькій області щілинного простору, обмеженого клином інструменту, вершиною тріщини та її берегами, при яскраво вираженому полярному ефекті (найбільш неоднорідний матеріал знаходиться перед вістрям тріщини). Хімічні перетворення в просторі реакційної щілини(зіткнення атомів і молекул, перебудову їх електронних оболонок, обмін атомами, взаємодію між зарядженими частинками та ін.) зумовлюються емісією електронів з вершини зростаючої тріщини, каталітично

активними ювенільними поверхнями, а також самоактивацією процесу іонізації в результаті дії позитивного зворотного зв'язку між хімічним процесом і механічним руйнуванням. Саме при взаємодії утворених електрично активних частинок між собою та з електрично активною структурою матеріалу вивільняється теплова енергія, яка, діючи спільно з механічною,спричиняє втрату стійкості тіла.

Сукупність експериментальних даних показує, що атом водню іонізуючись до протону транскристалічно переміщується в об'ємі матеріалу. Можливість такого переміщення обумовлена проявом незвичайних властивостей протона і силою, що виникає завдяки ефектам його взаємодії з електронами провідності, які дифундують в напрямку, що визначається прикладеним електричним полем. Інша частина протонів дифундує до місць надлишкової вільної енергії – зон максимальних локальних напружень, тобто граничної концентрації енергії в мікроскопічних областях безпосередньо в місці подолання зчеплення між атомами деформованого тіла. Тут протон водню буде вступати в з'єднання з надлишковими електронами $H^+ + e^- \rightleftarrows H$, утворюючи атом водню. При рекомбінації протона вивільняється енергія іонізації. Значні за величиною теплові імпульси, а також висока швидкість їх застосування здатні викликати потужну хвилю напруг і окрихчення матеріалу. У свою чергу, при зближенні нейтрального атома заліза з утвореним нейтральним атомом водню відбудеться накладення електронних хмар. Так як при цьому негативний заряд виявиться всередині поля позитивних зарядів, то виникне тяжіння, яке буде діяти до тих пір, поки відстань між атомами не виявиться занадто малою. При цьому, позитивне ядро буде проникати всередину цього поля, що має врешті-решт призвести до відштовхування, спотворення кристалічної решітки і появи в ній додаткової напруги.

Отримані досить надійні результати досліджень показують, що саме водень у своїх активних формах і завдяки унікальним властивостям відіграє основну роль в процесах руйнування та деформації металу в поверхнево-активних середовищах.

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. В даний час для полегшення процесів деформації і руйнування до складу МОТС вводять поверхнево-активні речовини, які за рахунок високої адсорбційної активності знижують рівень поверхневої енергії і покращують оброблюваність металу в цілому. Така точка зору вважається загальноприйнятою і практично ніким не оскаржується. Однак, як було показано [3], в екстремальних умовах процесу різання адсорбційні процеси помітноне впливають на пластичну деформацію. Такі поверхнево-активні речовини здатні знизити тільки роботу, що витрачається на тертя по передній і задній поверхні інструменту. Звідси випливає, що методи створення і виробництва МОТС, які продовжують будуватися на старих принципах, підійшли до свого природного бар'єру.

2. Встановлено факт наявності водню в стружці і в обробленій поверхні металу після різання в МОТС або будь-який інший водневмісній рідині і показано його вплив на полегшення процесів деформації і руйнування. Цей факт може служити доказом того, що вихідна органічна рідина, застосовувана як МОТС, зазнає в зоні стружкоутворення хімічної трансформації з утворенням водню. Встановлено також, що на пластичну деформацію впливає тільки водень, що знаходиться в протонному стані. Ефективність впливу частинок водню, що володіє позитивним електричним зарядом, за інших рівних умов, залежить від концентрації протонів, що беруть участь в процесі руйнування. У зв'язку з цим незаперечною перевагою серед водневмісних середовищ маютьті, в складі яких знаходяться високомолекулярні з'єднання. Це означає, що ефективні присадки до МОТС слід шукати не серед поверхнево-активних речовин, а серед полімерних сполук, що дають у ланцюгах хімічних перетворень в зоні різання активні форми водню (іони, радикали, іон-радикали) і вуглецю. Показано, що активні форми водню беруть участь в механохімічному процесі деформації-руйнування і сприяють, тим самим, значному зниженню енергосилових витрат на обробку.

3. Встановлено, що в результаті хімічних перетворень органічної рідини крім водню, різних речовин і сполук утворюється вуглець, що входить до складу молекул вихідного середовища. Показано, що в процесі різання вуглець накопичується на поверхнях ріжучого інструменту і призводить до карбонізації ріжучих кромок інструменту, підвищуючи його зносостійкість.

4. Встановлено, що безпосередній вплив на процеси деформації і руйнування мають теплові ефекти, що виникають внаслідок контактних взаємодій електрично активного водню з електрично активною реальною структурою матеріалу перед вістрям зростаючої тріщини.

5. Встановлено іонізатори, що перетворюють електрично нейтральний водневмісний газ в іонізований: теплові потоки в зоні різання, парамагнітні центри продуктів розпаду полімеру, ювенільні нові поверхні зростаючої тріщини й екзоелектронна емісія з вершини тріщини, що є наслідком перегрупування і розриву міжатомних зв'язків деформованого тіла.

6. Прийнято обґрунтоване припущення, що вершина клину інструменту не контактує з місцем відділення частинок металу від заготовки, утворюючи вузький щілинний простір, що переходить в тріщину руйнування. У зв'язку з цим, між клином інструменту і вершиною тріщини утворюється реакційна зона – простір, де протікає комплекс хімічних перетворень середовища у водневу плазму. У ній формується вектор переміщення елементарних частинок, що містяться в плазмі: H^+ переміщується в бік катода – вершини тріщини, а H^- в напрямку анода – ріжучого інструменту.

7. Дифузія протонів в середині матеріалу перед вістрям тріщини відбувається зі швидкістю, що значно перевищує швидкість деформування металу. Це забезпечується відомим ефектом "електронного вітру", посиленим електромагнітним полем, створюваним в системі "верстат-інструмент-заготовка".

8. Утворений в результаті піролітичних перетворень макроланцюгів полімеру вуглець являє собою поліспряжену поліциклічну систему, що складається з графітизованих ароматичних кілець. Властивості такого продукту практично не вивчені. Однак в роботах багатьох авторів вказується на тісний взаємозв'язок магнітних, електрофізичних і каталітичних властивостей піролізованих полімерів. Висловлено припущення, що в зоні стружкоутворення при знаходженні в хмарі іонізованого воднювисока швидкість дифузії вуглецю в інструмент може бути пов'язана з незвичайними властивостями протона і пірополімерного залишку.

9. Вивільнена теплова енергія, є результатом взаємодії заряджених частинок електрон-протон, протон-іон металу, протон-протон. Атомарний і молекулярний водень, щоутворюється в процесі взаємодії елементарних частинок бере участь в нових хімічних реакціях і може впливати на фізичні та механічні властивості твердого тіла.

Важливо відзначити, що кінетика хімічної активації водневмісного середовища в екстремальних умовах різання практично не досліджена. Крім того, необхідно зазначити,що властивості утворюваних в кінетичних хімічних реакціях речовин, а також закономірності їх утворення в умовах різання настільки специфічні, що наявні результати майже не піддаються узагальненню.

Разом з тим, можна виділити ряд проблем, необхідність вирішення яких зумовлює такі основні напрямки подальших досліджень:

- з'ясування детального складу газоподібних продуктів перетворення органічних речовин, що становлять МОТС, і, в першу чергу, полімернихскладових в зоні стружкоутворення і оцінка трибологічної активності цих газів;
- дослідження ініціювання і самоприскорення хімічних перетворень водневмісного газу до утворення водневої плазми;
- дослідження електродинамічних процесів взаємодії елементарних частинок і їх впливу на міцність матеріалу, що деформується в поверхнево-активному середовищі;
- вивчення впливу фізичних і механічних факторів, які сприяють або, навпаки, перешкоджають протіканню хімічного перетворення середовища в ході процесу, а також впливають на контактні взаємодії електрично активних частинок водню з електрично активною реальною структурою твердого тіла.

Список використаних джерел

1. Сошко А.И. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла / Сошко А.И., Сошко В.А. Херсон: Олди-плюс, 2008. 618 с.
2. Сошко В.А.,Сошко А.И.Механохимическая обработка металлов.ФРГ:LAMBERT Academin Publishing., 2015. 98 с.
3. Сошко В.А., Сошко А.И., Грубник А.В. Механизм влияния смазочно-охлаждающих технологических сред на разрушение метала при резании. Технология машиностроения. 2019. №1(199). С. 16-27.

УДК 66.045.1

О.І. Клюєв[1], С.А. Русанов[1], К.В. Луняка[2]
1 – Херсонський національний технічний університет,
2 – Херсонська філія національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ РІДИНИ ПО ТРУБАХ КОЖУХОТРУБЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ВВЕДЕННЯ РІДИНИ В АПАРАТ І СТВОРЕННЯ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

При роботі кожухотрубчастих теплообмінних апаратів важливо, щоб теплоносій розподілявся по усіх його трубах рівномірно, тобто швидкості руху рідини в усіх трубах були однакові. В противному випадку при використанні високотемпературних теплоносіїв (водяна пара під тиском, нафтопродукти тощо) можливий перегрів тих труб, в яких швидкість руху теплоносія низька, наслідком чого може бути виведення їх з ладу.

Як показали наші дослідження [1-3], нерівномірність розподілу рідини залежить від її витрати, в'язкості (температури) і конструктивних особливостей апарату – діаметру вхідного патрубку й висоти кришки.

До конструктивних особливостей слід також віднести розташування вхідного патрубку, тобто, спосіб введення рідини в апарат. Були проведені дослідження розподілу швидкості рідини по трубах кожухотрубчастого теплообмінного апарату при осьовому, радіальному та тангенціальному введенні рідини в апарат. Результати показали, що при будь-якому способі введення рідини в теплообмінник спостерігається нерівномірний розподіл швидкості теплоносія по трубах діаметрального ряду апарату.

З усіх досліджених способів введення рідини в кожухотрубчастий теплообмінник найбільш раціональним є радіальне введення. При такому способі введення теплоносія можна досягти практично рівномірного розподілу потоку по трубках, не використовуючи ніяких спеціальних розподільних пристроїв. Для цього достатньо підтримувати оптимальне співвідношення між діаметрами апарату і вхідного патрубку ($D_{ап}/D_0 = 4,7$).

При осьовому ж введенні рідини в апарат збільшенням діаметру вхідного патрубку і висоти кришки не можна досягти рівномірного розподілу швидкостей теплоносія по площині трубної решітки, тому в цьому випадку для отримання рівномірного профілю швидкостей потрібні спеціальні розподільні пристрої.

Тангенціальне введення рідини в кожухотрубний теплообмінник зазвичай не практикується, але ми використовували таке введення у комбінації з запропонованою нами конструкцією розподільної вставки. Конструктивне рішення полягає у тому, що у вертикальному теплообмінному апараті верхня і нижня колекторні камери містять розподільні пристрої, які складаються з циліндричних вставок і перфорованого диска на спрямовуючих стержнях з пружинами з можливістю переміщення.

Таким чином, дослідження показали, що розташування вхідного патрубку суттєво впливає на рівномірність розподілу рідини по трубах кожухотрубчастого теплообмінника. Вивчення характеру розподілу швидкостей дозволило створити нові конструкції розподільних вставок для створення рівномірного розподілу теплоносія по трубах.

Список використаних джерел

1. Клюєв О.І., Луняка К.В. Дослідження руху рідини в трубах теплообмінника // Проблеми економії енергії. МНПКПЕЕ. – Львів. – 2003. – С .222-227.
2. Клюєв О.І., Луняка К.В. Дослідження розподілу рідини по трубах кожухотрубного теплообмінника // Вестник Херсонського государственного технического университета. – 2004.– №2 (20). – С.121-123.
3. Клюєв О.І., Луняка К.В., Чумаков Г.А., Ардашев В.О. Вплив рівномірності розподілу рідини по трубах на характер роботи кожухотрубчастого теплообмінника // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.– 2006. № 4 (83).– С.46-49.

УДК 621.382

В.М. Литвиненко[1], Є.О. Баганов[1], І.М. Вікулін[2], В.Е. Горбачов[2], І.Ф. Погребняк[1]
1 – Херсонський національний технічний університет, м. Херсон
2 – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, м. Одеса

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРЕМНІЄВОГО ВАРИКАПА З ОМІЧНИМ КОНТАКТОМ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ

Однією з проблем виробництва варикапів з омічним контактом на основі алюмінію є високі рівні їх зворотних струмів, що знижує вихід придатних приладів. У роботах [1, 2] встановлено, що причиною частих відмов напівпровідникових приладів з алюмінієвою металізацією є прокол p-n переходів алюмінієм під час термообробок після його осадження. Поблизу гострих вершин включень алюмінію збільшується напруженість електричного поля [2, 3], що викликає локальне закорочення p-n переходу.

Експериментально встановлено, що виникнення проколів p-n переходів пов'язано із вакансійними порожнечами, що утворюються як результат неоднорідного розчинення кремнію в алюмінії внаслідок різних коефіцієнтів їх дифузії один у одному (рис.1) [2, 3].

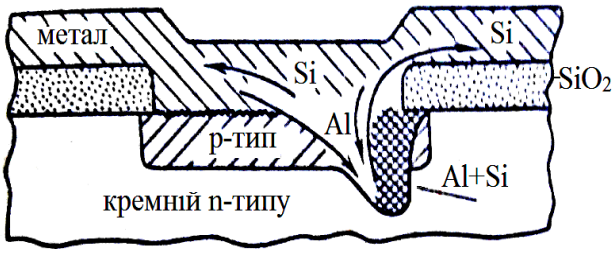


Рис. 1. Схема розчинення кремнію алюмінієвою плівкою: неоднорідне розчинення кремнію плівкою алюмінію, утворення пустот в кремнії, заповнення алюмінієм пустот, у результаті чого відбувається прокол p-n переходу [2, 3]

У роботах [1, 2] запропоновано метод запобігання проникненню Al у Si, який полягає в додатковому легуванні плівки алюмінію кремнієм до концентрацій в межах існування області твердого розчину (0,5 – 1 мас. %). Цей спосіб дозволяє знизити активність взаємодії між алюмінієм і кремнієм внаслідок нерівноважних явищ [3], проте не усуває міграцію алюмінію уздовж дефектів.

Однак, підвищення рівня зворотних струмів спостерігалося і на підкладках з орієнтацією <111>, на яких швидкість дифузії кремнію у алюміній падає практично до нуля [3]. Тому в даному випадку активізацію дифузії можна пов'язати з наявністю поверхневих структурних дефектів, які є локальним порушенням грані <111> і, відповідно, забезпечують можливість локальних процесів дифузії.

Одним з методів ефективного видалення різних дефектів з активного шару напівпровідникових структур є гетерування [4, 5], яке полягає у забезпеченні розчинення дефектів у зонах (гетерах), де вони не впливають на роботу приладу, та стимулюванні високої рухливості дефектів, у першу чергу, внаслідок створення локальних напружень у кристалі.

Тому метою даної роботи є дослідження причин негативного впливу процесу формування омічного контакту на основі алюмінію на зворотну гілку ВАХ кремнієвого варикапу та розробка ефективного технологічного методу запобігання цьому впливу на основі гетерування.

Структури досліджуваних варикапів виготовлялися за стандартною планарно-епітаксіальною технологією. Для проведення епітаксіального процесу використовувались кремнієві підкладки, леговані стибієм, з питомим опором 0,01 Ом·см, орієнтовані за площиною <111>. Температура епітаксіального процесу становила 1150 ºС. Отримані епітаксіальні структури мали питомий опір 1,3 Ом·см і товщину 7 мкм.

Для з'ясування причин деградації зворотних характеристик варикапів були проведені металографічні дослідження варикапних структур, відбракованих на контролі їх рівня зворотного струму (рис. 2). На вихідних пластинах ще до проведення першої високотемпературної операції – термічного окислення, були виявлені епітаксіальні дефекти упакування, щільність яких склала 10^4-10^5 см$^{-2}$, а також дислокації, які мали щільність 10^3-10^4 см$^{-2}$. Після термічного окислення і видалення шару SiO_2 в епітаксіальних структурах були виявлені окислювальні дефекти упакування щільністю до 10^5 см$^{-2}$.

а) *б)* *в)*

Рис. 2. Поверхня кремнієвої епітаксіальної структури з виявленими епітаксіальними дефектами упакування (а), дислокаціями (б) та окислювальними дефектами упакування після термічного окислення (в). Збільшення 507^x.

Для запобігання утворенню структурних дефектів необхідно було вибрати ефективний метод гетерування [6]. Оскільки структурні дефекти утворюються починаючи з процесу епітаксії, вочевидь, що область гетера необхідно створювати в підкладках, на які будуть осаджуватись епітаксіальні шари. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксіальних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою імплантації у неї іонів фосфору. Область гетера була сформована на зворотному боці підкладки імплантацією іонів фосфору з енергією 100 кеВ, дозою $8 \cdot 10^{15}$ см$^{-2}$ на установці «Везувій-5». Далі на робочу сторону підкладок при температурі 1150 ºС осаджували епітаксіальний шар хлоридним методом на установці УНЭС-2П-КА [7].

Для досліджень були сформовані дві експериментальні партії варикапних структур, які були поділені на дві рівні частини. Одна частина структур у кожній партії була виготовлена за базовою технологією, інша – з використанням гетерування. Ефективність технології оцінювалася за виходом придатних варикапних структур за результатами металографічних досліджень і за рівнем зворотного струму.

У табл. 1 приведені порівняльні результати контролю за рівнем зворотного струму варикапів, виготовлених за базовою і розробленою технологіями. Видно, що застосування гетерування дає можливість в середньому на 10,7% підвищити вихід придатних приладів. При цьому варикапні структури, що були виготовлені з використанням гетерування, мали рівень зворотних струмів у 4-5 разів менший, ніж структури, що були отримані за базовою технологією.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики базової і розробленої технологій

Технологія виготовлення варикапних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних варикапних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, %
Виготовлених за базовою технологією	1	83,9
Виготовлених з використанням гетерування	2	94,6

Проведені після стадії розгонки бору металографічні дослідження морфології поверхні варикапних структур, які були виготовлені із застосуванням гетерування, показали відсутність структурних дефектів, що мають найбільший вплив на інтердифузію алюмінію і кремнію.

На рис. 3 приведені зворотні ВАХ варикапних структур, виготовлених за базовою технологією (крива 1) та за технологією з використанням гетерування (крива 2).

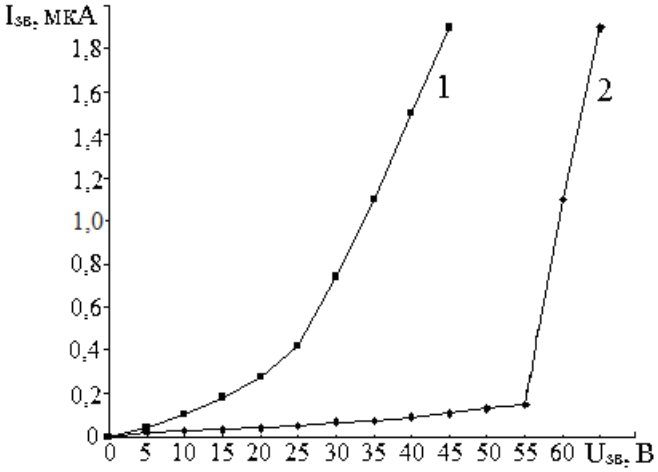


Рис. 3. Зворотні ВАХ варикапних структур: 1 – варикапна структура, виготовлена за базовою технологією; 2 – варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування

З рис. 2 видно, що варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування, має ВАХ, що є типовою для кремнієвого діода при відсутності в його активних областях структурних дефектів та небажаних домішок. І навпаки, варикапна структура, виготовлена за базовою технологією, має так звану «м'яку» ВАХ, вигляд якої вказує на наявність в активних областях варикапу структурних дефектів (дефектів упакування, дислокацій), домішок металів та наявність локальних закорочень p^+- n переходу. З порівняння кривих 1 і 2 видно, що застосування гетерування забезпечує належний низький рівень зворотних струмів.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Причиною низького виходу варикапів на контролі їх зворотного струму є структурні дефекти (епітаксіальні і окислювальні дефекти упакування та дислокації), які утворюються в активних областях варикапів в процесах високотемпературних операцій, а також явище «проколу» p-n переходу алюмінієм, що використовується для металізації.

2. Застосування розробленої технології виготовлення структур варикапів з використанням гетерування напруженою областю гетера, що створена на зворотній стороні кремнієвої підкладки перед осадженням епітаксіального шару, дозволяє запобігти утворенню структурних дефектів в активних областях структур і дає можливість у значній мірі зменшити вірогідність локального проникнення алюмінію в область p-n переходу варикапу внаслідок дифузії уздовж структурних дефектів. Останнє забезпечує зниження рівня зворотних струмів варикапів і підвищення виходу придатних приладів.

Список використаних джерел

1. Металлизация ультрабольших интегральных схем/ Д. Г. Громов, А. И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 277 с.
2. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / Под ред. Дж. Поута, К. Ту, Дж. Мейера [и др.] – М.: Мир, 1982. – 576 с.
3. Widmann D. Technology of Integrated Circuits / D. Widmann, H. Mader, H. Friedrich. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000. – 342 p.
4. Методы и механизмы геттерирования кремниевых структур в производстве интегральных микросхем / В.А. Пилипенко [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2013. - № 2-3. С. 43-57.
5. Enhancing parameters of silicon varactors using laser gettering/ I. M. Vikulin [at all] // Tekhnologiya i Konstruirovanie v Elektronnoi Apparature, 2018, N 2. – P. 29-32.
6. Литвиненко В.Н. Дефекты и примеси в кремнии и методы их геттерирования/ В.Н. Литвиненко, Н.В. Богач // Вестник ХНТУ. – 2017. -№1(60). – С. 32-42.
7. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок / Л.А. Коледов. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. - 400 с.

УДК 656.02

П.В. Луб'яний, В.В. Бондаренко
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ПАСАЖИРОПОТОКІВ

Для досягнення точності моделювання сучасні програмні пакети використовують багатовимірні моделі кожного елементу транспортної системи. Основним критерієм вибору тієї чи іншої моделі служить відповідність результатів розрахунків реальним характеристикам об'єкта, що не дає гарантій правильного прогнозу при розгляді сценаріїв його розвитку. Крім цього, для таких методик характерна відсутність єдиних критеріїв оцінки якості отриманих рішень. Такий підхід не може вважатися доцільним, особливо при розгляді таких значних об'єктів, як маршрутні мережі великих міст.

Для моделювання пасажиропотоків однією з необхідних умов є визначення матриці трудових кореспонденцій. Даний етап моделювання найкраще виконати використовуючи гравітаційну модель

Гравітаційні моделі отримали таку назву внаслідок того, що вони аналогічні закону гравітаційного тяжіння. У них величини кореспонденцій прямо пропорційні об'ємам відправлень з одного транспортного району і прибуття в іншій, і обернено пропорційні відстані між цими районами.

Традиційна і найбільш поширена гравітаційна модель побудована на підставі наступної гіпотези

$$b_{ij} = K \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot f(c), \tag{1}$$

де b_{ij} – потенційні кореспонденції між районами і та j;
K – калібрувальний коефіцієнт;
HO_i – об'єм виїзду з району і, пас.;
HP_j – об'єм прибуття в район j, пас.;
і – номер району зародження кореспонденції, од.;
j – номер району завершення кореспонденції, од.

При цьому повинні виконуватися також наступні обмеження, які забезпечують умову збалансованості матриці кореспонденцій

$$\sum_{j=1}^{n} h_{ij} = HO_i, i = \overline{1,n} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} h_{ij} = HP_j, j = \overline{1,n}, \tag{3}$$

де n – кількість транспортних районів, од.

Визначення розрахункових кореспонденцій між транспортними районами виконується на основі наступного співвідношення

$$h_{ijk} = \frac{HO_i \cdot HP_{jk} \cdot k_{ijk} \cdot d_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} (HP_{jk} \cdot k_{ijk} \cdot d_{ij})}, \quad (4)$$

де h_{ijk} – розрахункові кореспонденції між районами і та j, пас.;

d_{ij} – функція тяжіння між районами і та j;

k_{ijk} – вирівнюючий коефіцієнт тяжіння поїздок з району і в j.

До переваг традиційної гравітаційної моделі можна віднести доступність початкової інформації і простоту виконання розрахунків. Як недолік слід зазначити те, що існуючий варіант реалізації не є суворо обґрунтованим з математичної точки зору, оскільки розрахункова формула тільки відображає загальні зв'язки між параметрами моделі, але не гарантує повної аналогії кореспонденцій між транспортними районами міста і силою взаємного тяжіння фізичних тіл.

Кінцева мета моделювання – ухвалення рішення, яке повинне бути вироблене на основі всебічного аналізу отриманих результатів. Цей етап вирішальний – або необхідно продовжити дослідження, або закінчити.

Для досягнення високої ефективності роботи маршрутного пасажирського транспорту у містах, при їх формуванні необхідно використання досконалих програмних пакетів моделювання, які дозволяють врахувати особливості функціонування маршрутної мережі в українських містах та приймати зважені рішення за допомогою об'єктивного критерію ефективності.

Список використаних джерел

1. Михайлов А.С. Управление рынком перемещений городского населения Алматы, НИЦ «Гылым», 2003– 237 с.
2. Я. Цибулька. Качество пассажирских перевозок в городах. пер. с чешского – М. Транспорт,1987 – 239 с.
3. Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. - М.: Транспорт, 1974, 103 с.
4. Доля В.К. Організація пасажирських перевезень у містах. Х.: Нове слово 2002. – 140 с.

УДК 621-01

Ю.Є Мєшков
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон.

ДО ПИТАННЯ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ

В основу проектування механізмів, їх побудови пропонується взяти вдосконалену структуру плоских базових геометричних систем, якими являється рухомі фігури.

Побудова базової системи виконується шляхом накладень певного числа зв'язків на елементи та рухомі фігури, виходячи з умови, що загальна кількість зв’язків має дорівнювати трьом (оскільки будується система з нульовим ступенем рухливості в відносному русі).

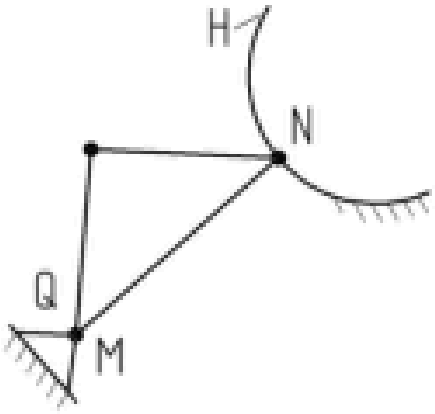
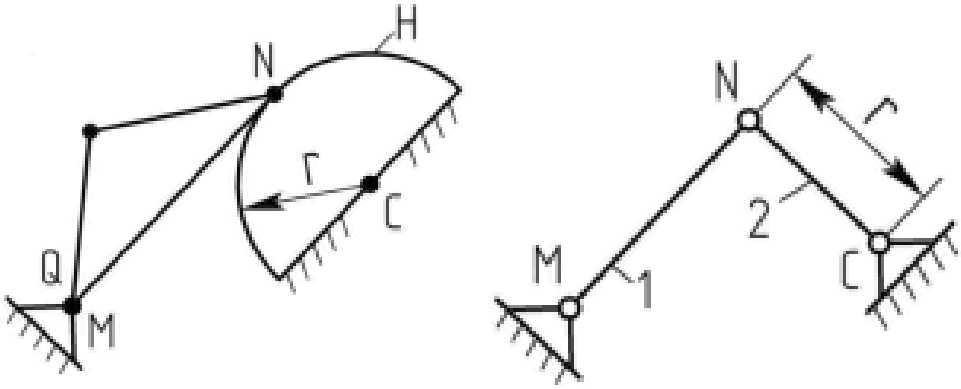


Рис 1. Базова геометрична система з нульовою рухливістю

Слід особливо відмітити, що в місцях дотику двох ліній в процесі побудови геометричної системи одна з ліній повинна бути замінена тільки колом. В іншому випадку (наприклад, стикання двох прямих) буде змінено загальна кількість зв'язків. В результаті система не буде мати нульову ступінь рухливості.

На основі базової системи можливо побудувати дві геометричні системи, надаючи лініях *H* спочатку форму кола, потім форму прямої. Одна з таких систем показана на рис. 2, а.



а) б)

Рис 2 Геометричні системи на основі базової

На її основі можливо побудувати групу ланок з нульовою ступінню рухливості в відносному русі шляхом заміни рухомих сполук геометричних об'єктів еквівалентними кінематичними парами, тобто виконати конструктивне оформлення рухомих з’єднань. Побудована у такий спосіб група показана на (рис. 2,б), що представляє собою потенційний

механізм. Щоб отримати реальний механізм, необхідно групу ланок з *W=0* перетворити в одно (двох) рухливу систему. Існує декілька способів виконання таких перетворень. Один з них полягає в зниженні числа зв'язків в одній з кінематичних пар даної групи. Наприклад, з геометричної системи випливає, що на точку *M* рухомої фігури накладені два зв'язки. Для того щоб отримати один зв'язок можна припустити, що точка *M* переміщується по деякій лінії *j*. Форма такої лінії може бути коло, пряма або дискретна (тобто лінія, що задана координатами складових її точок). У першому випадку отримаємо шарнірний чотирьохланковий механізм, у другому випадку - кривошипно-повзунний механізм.

Переміщення точки *M* по дискретній прямій *j* можна конструктивно оформити за допомогою вищої пари. В результаті отримаємо ричажно-кулачковий механізм.

Можливо також отримати переміщення точки *M* по лінії *j* введенням додаткової ланки - куліси.

З рис. 2,б випливає, що перетворення кінематичної пари в точці С дозволить отримати аналогічні механізми. Тут отримання нових кінематичних схем не передбачається.

У даної групи можливе одночасне перетворення кінематичних пар в точках *M* і *C* з метою зниження загального числа зв'язків. В результаті такого перетворення отримаємо шарнірно-важільний пятиланковий двохрухливий механізм. Тут за узагальнені координати можливо прийняти кути α і β повороту ланок 3 і 4 відповідно.

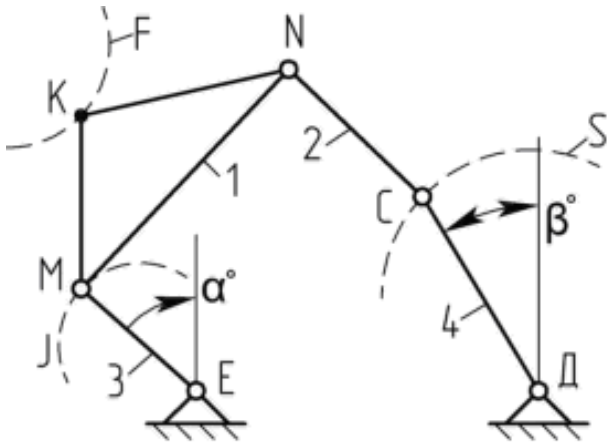


Рис. 3 Шарнірно-важільний п’ятиланковий двохрухливий механізм

Отже, на основі групи ланок, можливо побудувати п'ять кінематичних схем механізмів: три однорухливих і дві двохрухливих.

В процесі проектування перед конструктором стоїть завдання створення кінематичної схеми механізму, призначеного для відтворення конкретної цільової функції, тобто створення механізмів направляючих, або передавальних.

Припустимо, потрібно створити механізм для відтворення шатунної лінії *j*, заданої рівнянням

$$y = f(x). \tag{1}$$

Прийнявши за узагальнену координату величину X_i, переміщення точки *M* по лінії *j* знаходять з (1) відповідні значення Y_i .

Використовуючи координати $M_i(x_i,y_i)$, обчислюються відповідні їм координати точок N_i, і K_i. Тут значення $K_i(x_i,y_i)$, представлятимуть дискретну лінію *F*. Помінявши місцями положення точок *M* і *K*, отримують триланковий направляючий механізм.

Припустимо, необхідно спроектувати механізм, призначений для відтворення функціональної залежності кута *F* повороту веденого ланки від кута *a* повороту ведучої ланки, вираженої рівнянням

$$\beta = f(a) \tag{2}$$

Для вирішення цього завдання задаються значення a_i і з (2) знаходяться відповідні їм значення (β_i)

За узагальнені координати механізму приймаються значення a_i, і β_i і по ним знаходяться положення точок *M, C, K, N*. Отримані таким чином координати $K_i(x_i,y_i)$, визначають дискретну лінію *F*. Помістивши в точку *K* вищу пару, отримують передаточний механізм. Його ступінь рухливості визначається за формулою

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 5 - 1 = 1. \quad (3)$$

Тут повороту ланки 3 на кут *a* буде відповідати поворот ланки 4 на кут β.

Точність відтворення функції (2) буде залежати від точності виготовлення механізму.

На основі наведених даних можна зробити висновок: на основі однієї групи ланок з $W=0$ можливо побудувати як направляючий, так і передавальний механізми.

Замінивши дискретну лінію *F* на пряму, отримують нові кінематичні схеми механізмів направляючих та передавальних.

Тут відтворення цільових функцій (1) і (2) буде здійснюватися з деякою похибкою. Величина похибки буде залежати від ступеня наближення форми лінії F до прямої лінії.

При побудові геометричних систем можливі окремі випадки.

На закінчення слід зазначити, що на основі базових систем є можливість побудувати безліч груп ланок з $W=0$. На їх основі в процесі досліджень механізм розглядається як геометрична система. «одягнена» в метал, створюються кінематичні схеми плоских напрямних і передавальних механізмів.

Список використаних джерел

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. с.19 – 135
2. Романцев А.А. Механічні системи зі змінним ступенем рухливості // Теорія механізмів і машин. 2010 №2 (16). Том 8. С. 59-70.

УДК 620.1

Б.М. Мацків, О.О. Лобов, Д.Д. Федорчук
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

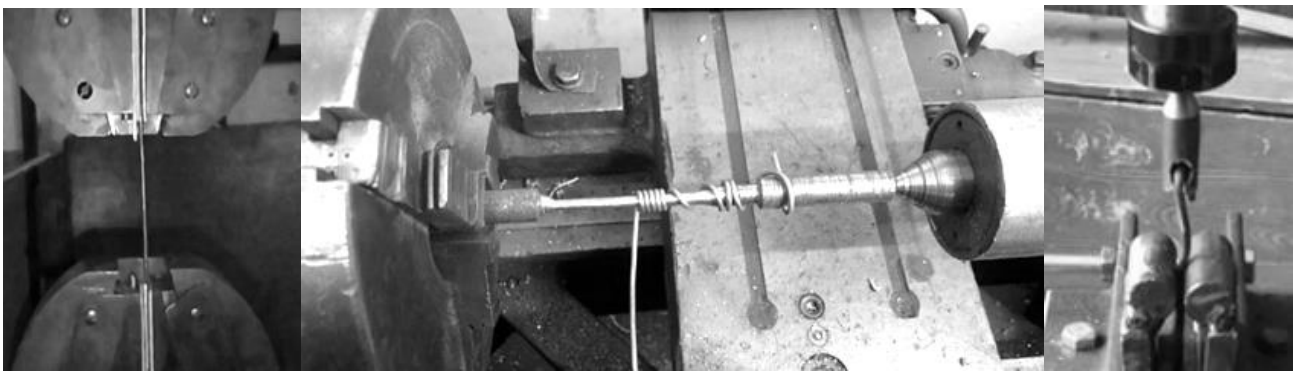
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ МЕХАНІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛЕВОЇ ПРОВОЛОКИ

При визначенні механічних характеристик сталевого дроту використовуються різні методи випробувань дослідного зразка. Основними з них є: випробування на перегин, випробування на розтягування та випробування на навивання [1-4].

Використання кожної з перелічених методик випробувань несе за собою певну кількість проблем, що постають перед дослідниками. А саме:

- дослідний зразок деформується в місці затискання при розтягуванні, що може призвести к виникненню шийки саме в цьому місці при розтягуванні і, як наслідок, помилковим висновкам;
- методики випробувань на перегин та навивання потребують автоматизації для отримання більш точних результатів.

Тому дана робота спрямована на вдосконалення досліджень із застосуванням додаткових впроваджень (рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Приклади впроваджень в процесі випробувань: а) при розтягуванні; б) при навиванні; в) при випробуванні на перегин

Було запропоновано наступні вдосконалення методики механічних випробувань низьковуглецевого сталевого дроту.

При проведенні випробування на розтяг, запропоновано застосовувати алюмінієві пластини алюмінієві при затисканні зразка при для зменшення деформації поперечного перерізу дроту.

Для випробувань на навивання, запропоновано використовувати токарний верстат ТВ-320 для досягнення рівномірної швидкості та щільності укладання витків, уникнення випадкових перегинів дроту.

Під час проведення випробувань на перегин було прийнято рішення про застосування багатокоординатного маніпулятора з паралельною кінематикою, що рухається по запрограмованій траєкторії згідно з програмою. Це дозволяє зменшити вірогідність перегинів під кутом більшим, ніж зазначено в методиці. Використання маніпулятора дозволяє зберегти

процес перегинання в одній площині (зменшивши ризики перпендикулярного зсуву), та встановити необхідну швидкість деформацій.

Проведення мікроскопічного аналізу дослідних зразків до та після руйнування, при механічних випробуваннях, дозволяє більш точно визначити характер деформації, структуру сплаву, хімічний склад, термічну обробку та, як наслідок, механічні властивості випробуваного дроту.

Таким чином при проведенні комплексного випробування дроту з низьковуглецевої сталі діаметром 2 і 3 мм., було визначено відповідність якості дослідних зразків основним вимогам стандартів.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 3282-74 Проволока стальная низкоуглеродистая общего назначения. Технические условия.
2. Проволока. Метод испытания на растяжение ГОСТ 10446-80.
3. Проволока. Метод испытания на перегиб ГОСТ 1579-93.
4. Проволока. Метод испытания на навивание ГОСТ 10447-93.

УДК 372.862

С.Р. Сєліверстова[1], І.А. Сєліверстов[2], І.В. Смирнов[3]
1 - Херсонська державна морська академія,
2 - Херсонський національний технічний університет,
3 - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МОТИВАЦІЇ УЧБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

Вступ. Загострення небезпеки втрати унікальності кожної людини, його здатності вибрати свою долю; неможливість людини засвоїти великі потоки інформації в інформаційному суспільстві; суперництво в досягненні успіхів разом з прагненням до рівності можливостей; проведення ринкових реформ без урахування соціальної орієнтації, потребують мобільності освітницьких підходів.

Освіта, орієнтована тільки на отримання знань, означає в даний час орієнтацію на минуле. Сучасна система освіти повинна формувати такі нові якості випускника як ініціативність, інноваційність, мобільність, гнучкість, динамізм і конструктивність. Майбутній професіонал повинен володіти прагненням до самоосвіти протягом усього життя, володіти новими технологіями і розуміти можливості їх використання, вміти приймати самостійні рішення, адаптуватися в соціальному і майбутньому професійному середовищі, вирішувати проблеми і працювати в команді, бути готовим до перевантажень, стресових ситуацій і вміти швидко з них виходити. Виховання такої соціально і професійно активної особистості вимагає від педагогів сучасної вищої школи застосування абсолютно нових методів, прийомів і форм роботи. Щоб сформувати компетентного випускника у всіх потенційно значущих сферах професійної освіти і власне життєдіяльності, необхідно застосовувати активні методи навчання, технології, які розвиватимуть, перш за все, пізнавальну, комунікативну та особистісну активність сучасних студентів [1].

Постановка завдання. Для того, щоб учбова діяльність стала компонентом розвитку і саморозвитку, важливо не тільки глибоко розуміти характер її змісту, а й постійно вдосконалювати її мотиваційну сторону, що забезпечить успіх і спрямує активність особистості студента в потрібне русло розвитку [2].

Об'єктом дослідження є динаміка мотивації навчальної діяльності студентів. Предмет дослідження - психологічні особливості мотивації навчальної діяльності студентів - бакалаврів транспортної галузі та умови її розвитку.

Метою даного дослідження є виявлення особливостей мотивації навчальної діяльності студентів-бакалаврів технічної спеціальності та психологічних умов розвитку мотивації протягом навчання у ЗВО (закладі вищої освіти).

Відповідно до мети та задач дослідження було сформовано гіпотезу дослідження, сутність якої складається у тому, що на різних етапах навчання у ЗВО, відбувається зміна мотивації навчання. У зв’язку з цим, визначення задач дослідження проведено таким чином: визначити поняття мотив і мотивація в науковій психології; дослідити проблему мотивації в юнацькому віці; прослідити специфічні особливості мотивації учбової діяльності та професійної направленості майбутніх фахівців.

Дослідження проблеми мотивації навчальної діяльності проводилось на базі Херсонського технічного університету та Херсонської державної морської академії МОН України. В дослідженні прийняли участь 90 чоловік: 30 чоловік – студенти 1-го курсу, які вступали в ЗВО на базі повної середньої освіти; 30 чоловік – студенти 3-го курсу, які вступали в ЗВО на базі повної середньої освіти, і 30 чоловік – студенти 1-го курсу, які вступали до ЗВО на базі кваліфікаційного рівня «молодший спеціаліст». Кількісний-відсотковий склад вказаних груп – студенти технічних спеціальностей: 100% чоловіки від об’єму вибірки.

Дослідження мотиваційної сфери суб'єкта передбачає використання сукупності діагностичних методик і прийомів [4], що дозволяють фіксувати різні мотиваційні компоненти - не тільки мотиви, а й цінності, цілі, інтереси, прагнення, бажання, інші суб'єктивні форми прояву і розвитку мотивів діяльності. Пізнавальні мотиви релевантні навчальній діяльності; професійні мотиви адекватні вченню студента і релевантні його майбутній професійній діяльності. Комплекс експериментальних методик призваний виявити різні мотиваційні компоненти, їх взаємодію і взаємовпливів у загальному мотиваційному синдромі навчання студента.

Методичну базу досліджень склали:

1. Методика А.А. Реана и В.А. Якуніна «Вивчення мотивів учбової діяльності студентів»;
2. Методика самооцінки мотивів учбової та пізнавальної професійної діяльності;
3. Анкета вивчення розвитку пізнавальних та професійних мотивів (за модифікацією Р.С. Вайсмана).

Методика «Вивчення мотивів навчальної діяльності студентів» (А.А. Реан, В.А. Якунін) [1] має на меті визначення частоти вибору того чи іншого мотиву (по всій вибірці). Теоретичне обґрунтування методики полягає у наступному: мотиваційна сфера навчальної діяльності студентів має ієрархічну структуру. Домінуюче становище в ній займають ті мотиви, які при ранжуванні отримують перші місця.

За анкетою Р.С. Вайсмана, студентам пропонується вказати, яку кількість часу протягом місяця вони реально витрачають і хотіли б витрачати на різні перераховані в анкеті види діяльності, якби могли вільно розпоряджатися своїм часом. Для визначення показників величини потреби в знаннях і відповідних мотивів враховувалися тільки бажані витрати часу (для більшої точності відзначалися також і реальні витрати часу) [4]. Аналіз данних, отриманих за вказаними вище методиками показав такі результати.

У студентів молодших курсів ставлення до майбутньої професії ще не носить вираженого характеру.

На першому курсі провідним мотивом є - «професійний» та «Прагматичний», на другому - «особистого престижу» та загальносоціальні. На мотивацію навчання всіх курсів, більшою мірою впливали «професійний» і «пізнавальний» мотиви. «Прагматичні» мотиви були в основному для молодших курсів. Таким чином, лише поступово, з придбанням професійних знань, студенти глибше осмислюють тонкощі своєї майбутньої спеціальності та своє Я в професії.

Відмінною рисою є зміна мотивів у 3-го курсу курсантів морської академії. «Професіональний» мотив перейшов на другий план, після практичного застосування своїх знань у ході морській плавальній практиці, поступаючи місце навчальним (пізнавальним) мотивам.

Системи копінг-стратегій студентів на різних курсах навчання у вузі відрізняються не просто кількісно, а глибоко якісно. Їх характеристики включають специфічні для кожного курсу міжфункціональні зв'язки. Так, на перших курсах переважало використання неконструктивних копінг-стратегій. На другому курсі кількість продуктивних стратегій зростала, і на третьому курсі їх число було максимальним. Треба відзначити, що, хоча діапазон їхнього застосування був широким, але механізм ще не сформованим.

Висновки. За отриманими результатами можливо зробити висновки про зміну структури мотивів та їх пріоритетів, а також значний вплив на мотивацію учбового та професійного навчання проходження трудової, виробничої практики, тренажерної, плавальної підготовки. Рівень розвитку мотиваційної сфери студента залежить від способів, умов і засобів навчання у ЗВО, усвідомлення власного сенсу вчення, предметно-рефлексивного ставлення до навчання, суб'єктної активності і суб'єктного відношення.

Глибоке пізнання і розуміння мотиваційної сфери може забезпечити успіх, та направити активність особистості студента в потрібне русло її розвитку.

Список використаних джерел

1. Бакшаева Н.А. Психология мотивации студентов / Бакшаева Н.А., Вербицкий А.А. – М.: Логос, 2006. – 184 с.
2. Выготский Л.С. Собрание сочинений: в 6-ти томах. Т.3. / Л.С. Выготский. - М.: Педагогика, 1982. -367 с.
3. Малхазов О.Р. Психологія праці: навч. посібник / О.Р. Малхазов. – К.: НАУ, 2008. – 168 с.
4. Практическая психодиагностика. Методики и тесты: Учебное пособие / Ред-сост. Д.Я. Райгородский. - Самара.: Изд. Дом «Бахрах», 2002. - 672 с.

УДК 656.02

В.П. Славич, М.Ю. Услистий
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

МОДЕЛЬ ВИБОРУ НАЙШВИДШОГО ШЛЯХУ ТРАНСПОРТНОГО РУХУ У ВИПАДКУ ВИНИКНЕННЯ ЗАТОРУ НА МЕРЕЖІ

Дорожні затори - це одна з найбільш найбільших проблем XXI століття. Більшість великих міст світу страждають від затору на дорогах. Затор - це масове скупчення транспортних засобів в певному місці. У зв'язку із зростанням рівня життя в великих містах, кількість автомобілів на душу населення щодня зростає, тим самим зростає і кількість автотранспорту на дорогах. Таким чином розробка будь-яких методів, які дозволяють зменшити затори є актуальні.

Метою роботи є розробка моделі знаходження часу подолання зони транспортного затору для будь-якого автомобіля, що потрапляє до нього, та в залежності від величини цього часу вибору найшвидшого сполучення з пунктом призначення.

Основою моделювання є дискретний підхід, вважаємо, що транспортна мережа уявляє собою сукупність послідовних клітинок, кожна з яких може бути заповнена, якщо в ній знаходиться транспортний засіб, та вільною, якщо автомобіля в ній немає. Розміри клітинок однакові і дорівнюють динамічному габариту будь-якого автомобіля, оскільки вони наведені у зведених одиницях. Автомобілі пересуваються із клітинки в клітинку почергово із заданою швидкістю, причому переміщення в наступну клітинку можливо лише за умови, якщо вона вільна. Кожен наступний автомобіль, що прибуває до системи, потрапляє у вільну клітинку, розташовану через одну від останнього в черзі автомобіля [1,3,5]

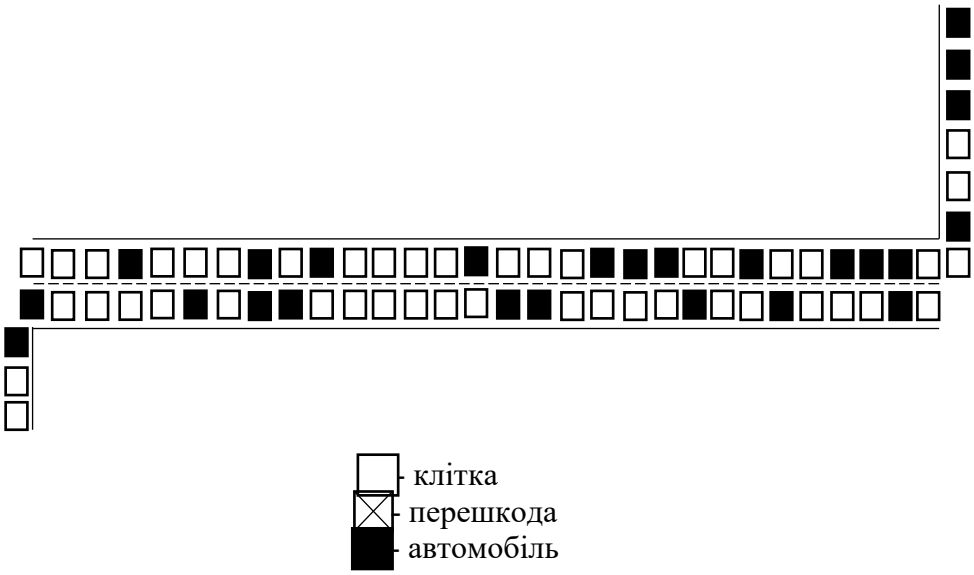


Рис. 1. Клітинкове представлення транспортної мережі

Нехай в деякий початковий момент часу t_0 виникла перешкода, позначимо цю ☒ клітку на рисунку. Будемо вважати для спрощення, що автомобілі рухаються групами з однаковими інтервалами між групами і однаковими довжинами груп.

Таблиця 1

Таблиця параметрів моделі

Параметри	Означення	Одиниці виміру
t_0	початковий момент часу	секунди
n_1	кількість автомобілів в групі (I)	клітинки
n_2	кількість автомобілів в групі (II)	клітинки
l_1	відстань між групами (I)	клітинки
l_2	відстань між групами (II)	клітинки
Δt	час за який автомобіль пройде одну клітку	секунди
k	номер поточної групи автомобілів	–
$T(\gamma)$	час подолання затору	секунди

Визначення часу подолання зони затору відбувається індуктивним методом поетапно, спочатку визначаємо даний час для першого автомобіля першої групи, потім другого та всіх наступних автомобілів першої групи. Далі визначаємо відповідний час для автомобілів з другої по останню групу.

Час подолання затору першим автомобілем k-ої групи визначається виразом:

$$T(\gamma_{k1}) = \begin{cases} T(\gamma_{k-1,n_1+1}),\ \text{якщо}\ (l_1+n_1)(k-1) \le \dfrac{T(\gamma_{k\text{-}1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \\ (Z_k + n_2 + 5)\cdot \Delta t,\ \text{якщо}\ (l_1+n_1)(k-1) > \dfrac{T(\gamma_{k-1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \end{cases}$$

Час подолання затору останнім автомобілем k-ої групи знаходиться з виразу:

$$T(\gamma_{kn_1}) = \begin{cases} T(\gamma_{k-1,2\cdot n_1}),\ \text{якщо}\ (l_1+n_1)(k-1)+n_1-1 \le \dfrac{T(\gamma_{k\text{-}1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \\ (Z_k + n_2 + n_1 + 4)\cdot \Delta t,\ \text{якщо} \begin{cases} (l_1+n_1)(k-1)+n_1-1 > \dfrac{T(\gamma_{k\text{-}1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \\ l_2 > n_1 + 3 \end{cases} \\ (Z_k + 2n_2 + l_2 + 5)\cdot \Delta t,\ \text{якщо} \begin{cases} (l_1+n_1)(k-1)+n_1-1 > \dfrac{T(\gamma_{k\text{-}1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \\ l_2 = n_1 + 3 \end{cases} \\ (Z_k + 3n_2 + 2l_2 + 5)\cdot \Delta t,\ \text{якщо} \begin{cases} (l_1+n_1)(k-1)+n_1-1 > \dfrac{T(\gamma_{k\text{-}1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \\ l_2 = n_1 + 2 \end{cases} \\ (Z_k + n_1\cdot n_2 + \\ +(n_1-1)\cdot l_2 + 5)\cdot \Delta t,\ \text{якщо} \begin{cases} (l_1+n_1)(k-1)+n_1-1 > \dfrac{T(\gamma_{k\text{-}1,n_1}) - 3\Delta t}{\Delta t} \\ l_2 = 5 \end{cases} \end{cases}$$

де параметр Z_k знаходиться з виразу:

$$Z_k = \begin{cases} (n_1 + l_1)(k-1), \text{ якщо } \left[\dfrac{(n_1 + l_1)(k-1)}{n_2 + l_2}\right] = 0 \\ (n_1 + l_1)(k-1) - \left\{\dfrac{(n_1 + l_1)(k-1)}{n_2 + l_2}\right\}, \text{ якщо } \left\{\dfrac{(n_1 + l_1)(k-1)}{n_2 + l_2}\right\} < n_2 \\ (n_1 + l_1)(k-1) + n_2 + l_2 - \left\{\dfrac{(n_1 + l_1)(k-1)}{n_2 + l_2}\right\}, \text{ якщо } \left\{\dfrac{(n_1 + l_1)(k-1)}{n_2 + l_2}\right\} > n_2 \end{cases}$$

ВИСНОВКИ

В даній роботі було запропоновано модель розрахунку часу подолання автомобілем зони затору. Було використано дискретний підхід та клітинковий спосіб представлення транспортної мережі. Розрахунок зазначеного часу дозволяє знаходити найшвидший шлях сполученням із місцем призначення. Якщо час проходження буде менший за час об'їзду, то оптимальний шлях пролягає через зону затору, в протилежному випадку через об'їзд. Зменшення часу прибуття дуже важливе для транспортних засобів швидкої допомоги, служби з надзвичайних ситуацій, оскільки кожна втрачена хвилина може врятувати життя.

Список використаних джерел

1. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
2. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения. Учебник для автомобильно-дорожных вузов и факультетов. – М.: Транспорт, 2001. – 192 с
3. Моделювання процесу утворення транспортних черг / А.В. Шеховцов, В.П. Славич // Проблеми інформаційних технологій – 2007. - № 2. – С. 41 – 44.
4. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. / Семенов В.В. 2004. – 45 с.
5. Славич В.П. Аналіз моделей процесу утворення транспортних заторів / В.П. Славич, А.В. Шеховцов, В.В. Крючковський // Тези доповідей Першої міжнародної науково-технічної конференції „Інтелектуальні системи в промисловості і освіті – 2007". – С. 169 – 170.
6. Славич В.П. Модель визначення довжини черги транспортних засобів при заданих параметрах світлофорного регулювання // Проблеми інформаційних технологій. 2014. – №02(016). – С.122-124.

УДК 621.7.01

А.И. Сошко, В.А. Сошко
Херсонский национальный технический университет, г. Херсон

МЕХАНОПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ ДАВЛЕНИЕМ

Сформулирована проблема необходимости интенсификации механической обработки стали. На основании обобщения исследований, посвященных различным физико-химическим процессам и явлениям, наблюдаемых в твердых телах при их деформировании в различных средах, предложен механизм облегчения процесса деформирования металла. В частности, при обработке металла давлением в зоне контакта формирующего инструмента с деформируемым металлом образуется чистая ювенильная поверхность, обладающая высокой каталитической и химической активностью, обусловленной энергетической неуравновешенностью атомов металла, лежащих на его поверхности и в приповерхностных слоях. Вследствие этого, а также экзоэлектронной эмиссии, локальных температурных вспышек и диссипации энергии протекают различные химические преобразования среды, способные переводить ее компоненты и, в первую очередь, в плазменное состояние, водород. Этот факт экспериментально подтвержден наличием в зоне контакта инструмента с металлом элементарных частиц, обладающих положительным электрическим зарядом (протонов), а также углерода в виде графита в его аллотронической модефикации [1]. Совокупность экспериментальных данных показывает, что обеспечение процессов деформации связано с электрическими процессами, кратковременными и достаточно длительными, протекающими в результате взаимодействия электрически активных частиц водорода с вновь образующейся реальной электрически активной структурой металла, возникающей вследствие механического воздействия на твердое тело. Интенсивность таких взаимодействий относится к классу сильных электромагнитных взаимодействий, которые более чем на десять порядков больше адсорбционных. Поэтому эффекты, возникающие в результате влияния различных сред на пластическую деформацию металла, следует связывать не с уменьшением поверхностной энергии металла в результате адсорбции среды, а вследствие электромагнитных взаимодействий протонов с реальной структурой металла [2]. Как известно, такие взаимодействия несут ответственность за все химические и биологические реакции и определяют строение вещества вне ядер. В связи с этим, все процессы, протекающие при деформации металла в различных средах, совершенно недостаточно рассматривать как чисто механические, а как механоплазменные. Если образующиеся протоны способствуют облегчению деформации металла, то аморфизированный графит выполняет роль смазки, способствуя разделению трущихся поверхностей.

То обстоятельство, что решающая роль образующихся эффектов от влияния различных сред на процессы деформации и разрушения принадлежит водороду, позволяют рекомендовать искать эффективные присадки к СОТС не среди сред, обладающих высокой адсорбционной активностью, как это делается сегодня, а среди полимерных соединений, дающих в цепи термомеханических превращений большую концентрацию активных форм водорода (радикалы, ионы, ион-радикалы) и углерода.

Проведена сравнительная оценка свойств некоторых промышленных СОТС с добавками полимера (0,5% поливинихлорида) на универсальной машине трения. Установлено, что при добавлении в СОТС полимера разрыв пленки, разделяющей трущиеся поверхности ($P_к$) происходит при нагрузке в 2,5 раза выше, а нагрузка схватывания трущихся поверхностей увеличивается в 1,8 раза.

Проведены широкие промышленные испытания полимерсодержащих составов СОТС: на трубопрокатных, трубоволочильных и листопрокатных станах, при холодной штамповке, вытяжке, волочении. Полученные результаты лабораторных и стендовых испытаний, а также производственная проверка предложенного способа механоплазменной обработки показали его высокую эффективность.

Список використаних джерел

1. Сошко В.А. Механохимическая обработка металлов / Сошко В.А., Сошко А.И. // Изд., LAMBERT Academin Publishing. ФРГ, 2015, с. 98 https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-160-167.
2. Сошко А.И. Обоснование механоплазменного эффекта, возникающего в процессе механиической обработки металла в смазочно-охлаждающих технологических средствах / Сошко А.И., Сошко В.А. // Металлофизика и новейшие технологии, № 1, 2017, с. 117-140 DOI: 10.15407/mfint.39.01.0117.

УДК 372.862

Т.В. Маломуж, В.О. Ткач, О.А. Войтович
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ВИКЛАДАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ЗАСОБАМИ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Українські та зарубіжні вчені приділяють значну увагу використанню мультимедійних технологій у навчальному процесі. Аналіз наукових праць свідчить, що вони по-різному підходять до можливостей використання мультимедійних технологій [1,2]. Основним серед їх висновків є те, що завдяки можливостям мультимедіа, вони використовуються у різних сферах діяльності людей, основною серед яких є освіта.

Впровадження в освітній процес мультимедійних технологій має ряд переваг в порівнянні з традиційним навчанням [2]: активізація уваги та навчально-пізнавальної діяльності студентів; використання різних текстових та візуальних варіацій, що дозволяє проблемно будувати лекцію, акцентуючи увагу на головних компонентах заняття, відображаючи їх у формі слайду-тексту; збільшення інформаційного об'єму навчального матеріалу без шкоди якості його засвоєння; можливість залучення більшої кількості каналів сприйняття навчальної інформації; використання кольорової графіки та анімації; підвищення продуктивності лекційного заняття.

Основу інженерно-технічної освіти складають фундаментальні дисципліни: вища математика; нарисна геометрія, інженерна та комп’ютерна графіка; теоретична механіка; опір матеріалів; теорія механізмів машин та ін. При викладенні лекційного курсу цих дисциплін значну частину навчального матеріалу студент отримує візуально (тобто теоретичний матеріал обов'язково супроводжується рисунками-кресленнями), а інформаційне навантаження при цьому розподіляється нерівномірно, тому одним з перспективних направлень удосконалення освітнього процесу є використання мультимедійних технологій, які збагачують процес навчання та дозволяють зробити навчання більш ефективним.

Для створення і реалізації мультимедійних технологій потрібні відповідне прикладне програмне забезпечення (*авторські засоби мультимедіа*) та засоби проектування мультимедійних проектів на великі екрани – *мультимедійні проектори*. Мультимедійний проектор підключається до комп’ютера, що забезпечує динаміку зображення, різні кольори об’єктів та звуковий супровід зображення [2]. З їхньою допомогою можна проектувати зображення від комп’ютера, відеомагнітофона, телевізора на великі екрани з діагоналлю понад 10 м. Мультимедійним проекторам властиві висока якість зображення та інтенсивний світловий потік, що дає можливість застосовувати їх для презентацій у великих незатінених приміщеннях.

Найпоширенішим в Україні *авторським засобом мультимедіа* є прикладна програма типу *Power Point*, яка входить до складу інтегрованого пакета *MS Office*. Цей тип авторських засобів є потужним завдяки застосуванню мови сценаріїв, великої кількості шаблонів, прикладів і готових графічних елементів, призначених для користувача інтерфейсу [3,4].

Одним із головних переваг програми *Microsoft Power Point* є застосування анімаційного ефекту. Презентації лекцій, які створюються з використанням елементів анімації полегшує сприйняття студентами поетапної побудови візуального зображення (рисунка-креслення).

Лекція-презентація складається з окремих слайдів, які мають різну інформативність. Структура створення слайда наступна: викладення на слайд текстової та візуальної інформації, призначення анімаційних ефектів. Керування анімаційними ефектами здійснює викладач, який забезпечує можливість візуального відображення перед слухачами хронологічної послідовності побудов та визначає необхідний час аудиторії для опрацювання окремих етапів навчального матеріалу.

На рис.1 проілюстрована класична побудова комплексного креслення (один з розділів дисципліни "Нарисна геометрія") та структура анімаційного ефекту. На рис. 1(б-г) частково показано етапи відображення побудови креслення.

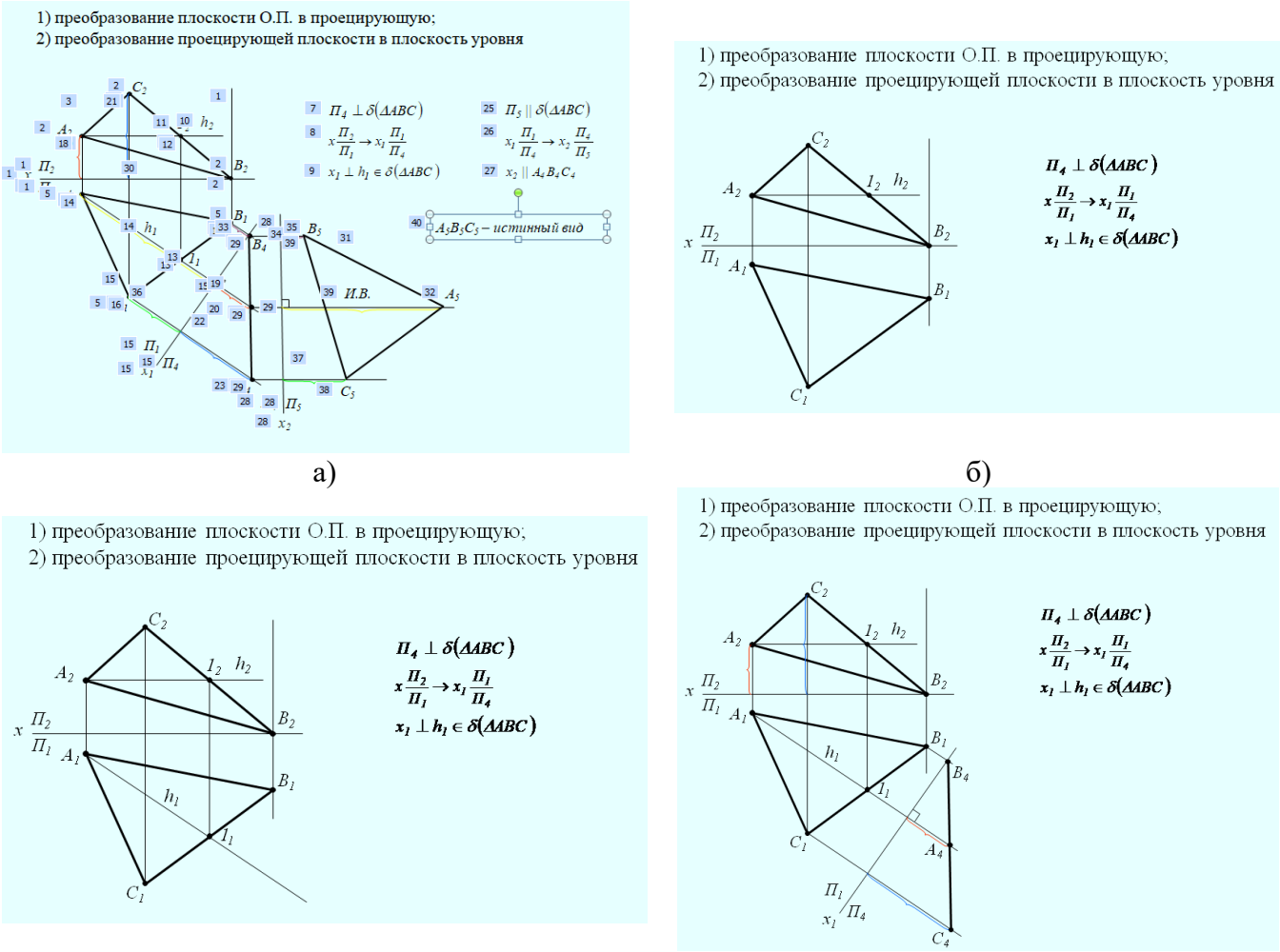


Рис. 1. Презентація лекцій виконана в програмі Microsoft Power Point
(а) структура анімаційного ефекту (б-г) етапи побудови креслення

Мультимедійні засоби навчання у вищій школі не можуть замінити викладача, але вони сприяють удосконаленню та урізноманітненню діяльності педагога, що має підвищити продуктивність освітнього процесу. Крім того, використання мультимедійних технологій у процесі навчання дозволяє більш широко і повноцінно розкрити творчий потенціал кожного студента.

Таким чином, вибір оптимальних організаційних форм та методів викладення учбового матеріалу залишається за викладачем, а мультимедійні технології використовуються з метою підвищення ефективності процесу навчання та забезпечують сприятливе середовище для формування необхідних компетенцій майбутнім фахівцям.

Список використаних джерел

1. Синиця М.О. Використання мультимедійних технологій у навчальному процесі ВНЗ як засіб формування педагогічних знань // Професійна педагогічна освіта: становлення і розвиток педагогічного знання: монографія / за ред. проф. О.А. Дубасешок. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. – 438с.
2. Пінчук О. Проблема визначення мультимедіа в освіті: технологічний аспект / О. Пінчук // Нові технології навчання. – К., 2007. – Вип. 46. – С. 55–58.
3. Інформатика: Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології : підручник для студентів вищих навчальних закладів / за ред. О.І Пушкаря. – К. : „Академія", 2002. – 704 с.
4. Буйницька О. П. Інформаційні технології та технічні засоби навчання. Навч. посіб. / О. П. Буйницька – К.:Центр учбової літератури, 2012. – 240 с.

УДК 621.891-539.375.6

О.А. Закора[1], І.А. Сєліверстов[1], С.Р. Сєліверстова[2]
1 - Херсонський національний технічний університет, м.Херсон
2 - Херсонська державна морська академія, м.Херсон

УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУРНОЇ БАЗИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СКЛЕРОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОКРИТТІВ

Визначення механічних властивостей поверхневих шарів і покриттів, яке відноситься до механіки суцільних середовищ, є апаратуроємним науковим напрямком досліджень, що інтенсивно розвивається у світі. Точність відтворення експерименту і можливість мобільного керування умовами його проведення є залогом успіху наукового дослідження і одержання достовірних результатів. Тому удосконалення конструкції і умов роботи вимірювальних приладів є актуальною задачею для дослідника.

Для визначення пружно-пластичних властивостей покриттів використовується прилад для виміру твердості матеріалів методом склерометрії [1]. Методика склерометричних випробувань заснована на безперервному навантаженні матеріалу і деформуванні його в пружних і пружно-пластичних областях до граничного стану з наступним руйнуванням шляхом горизонтального переміщення індентора, попередньо заглибленого на певну глибину. Методика дозволяє змінювати навантаження на індентор і регулювати швидкість склерометрії. При цьому способі визначення механічних характеристик швидкість склерометрії є дуже важливим показником, який характеризує швидкість пластичного деформування матеріалів. Загальна тенденція виражається в тому, що з підвищенням швидкості переміщення індентора збільшується опір металів деформації. Чим вище швидкість деформації, тим вище ефект зміцнення і тим менше позначається вплив «повернення».

Швидкість деформації значно впливає на фіксацію показників зусилля склерометрії. Для цього в склерометр «АИ2.280.005ПС», на якому проводили випробування (рис.1), внесений ряд технічних удосконалень [2]. Випробувальні зразки металу кріпляться на предметному столику. Рівномірне переміщення столика здійснюється електроприводом через понижувальний редуктор, жорстко зв'язаний через пружну муфту з ходовим гвинтом предметного столика. Обертання редуктора здійснюється кроковим двигуном постійного струму «NEMA23» із понижуючим редуктором 1/137. Даний пристрій забезпечує переміщення стола відносно індентора зі швидкістю пластичної деформації від 0,005 мм/хв до 10 мм/хв і дозволяє отримати точність позиціонування індентора в будь-якій точці. У якості індентора використовується чотиригранна алмазна піраміда Виккерса з ромбічною основою з кутом між гранями при вершині 136º, навантаження на індентор 50г і 100г.

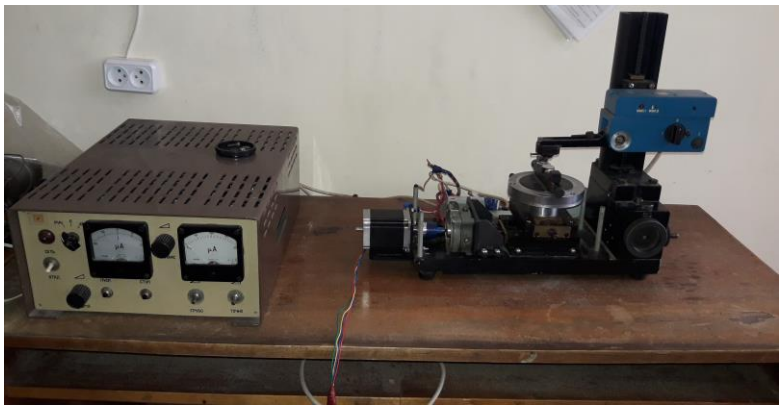


Рис.1. Зовнішній вигляд склерометра «АИ2.280.005ПС»

Керування кроковим двигуном здійснюється за допомогою комп'ютерної програми Mach3 CNC Controller [3].

В табл. 1 представлені параметри роботи крокового двигуна, при яких проведенні експериментальні дослідження можливості проведення склерометричних досліджень.

Таблиця 1

Навантаження на індентер, г	Step per	Velocity	Кількість обертів двигуна, $хв^{-1}$	Час дряпання, хв.
50	500	50	120	12
	250	400	480	3
	300	800	1150	1хв30сек
100	500	50	120	12
	250	400	480	3
	300	800	1150	1хв30сек

Характер руйнування (подряпин) поверхонь дослідних зразків металів при різних швидкостях склерометрії показаний на рис. 2 і 3 (нижня подряпина одержана при найнижчий швидкості, верхня подряпина – при найвищий відповідно).

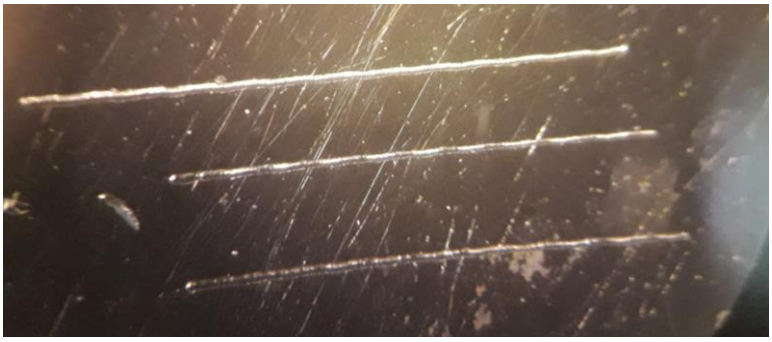


Рис. 2. Руйнування, одержані при навантаженні індентора 50 г

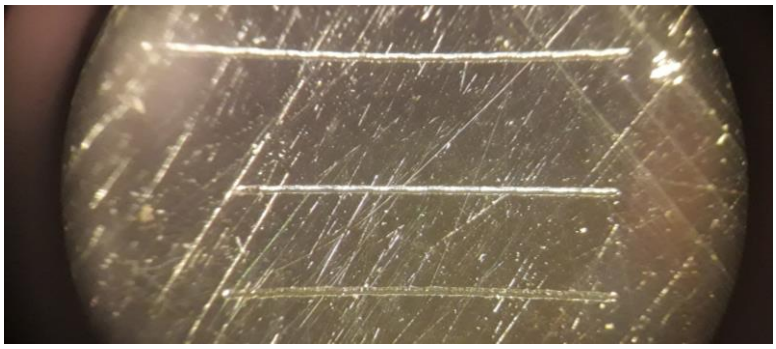


Рис. 3. Руйнування, одержані при навантаженні індентора 100 г

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що при випробуванні вуглецевих сталей з твердістю 250 НВ спостерігається незначний ефект зміни форми, розміру і зусиль деформації при різних швидкостях переміщення зразка, проте наростання і зниження зусилля склерометрії має більш виражений характер. Значні склерометричні ефекти очікуються при випробуванні тугоплавких металів, загартованих сталей і дифузійно-насичених шарів і покриттів, випробування яких знаходиться на стадії розробки.

Список використаних джерел

1. Хрущев, М.Н. Склерометрия / Хрущев, М.Н. — М.: Наука, 1968. — 205с.
2. Сєліверстов І. А. ІОННО - ПЛАЗМОВЕ НАНЕСЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПЛІВОК НА КЕРАМІЧНІ ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ : дис. канд. техн. наук : 05.03.06 / Сєліверстов Ігор Анатолійович – Київ, 2009. – 195 с.
3. https://electroprivod.ru/program/mach3/mach3.pdf

УДК.621.777

І.С. Алієв[1], В.Л. Калюжний[2], В.М. Левченко[1], Л.І. Алієва[1]
1 – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
2 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ

При виготовленні вісесиметричних порожнистих виробів зі сталей і кольорових металів, в тому числі порожнистих напівфабрикатів, в серійному і масовому виробництвах використовується холодне видавлювання. Найбільш широке розповсюдження знайшла схема зворотного видавлювання [1], але для неї характерні значні зусилля деформування. Схема прямого видавлювання з роздачою [2] для отримання вказаних виробів дозволяє знизити зусилля видавлювання, але вона не знайшла використання на виробництві з причини значних складнощів при видаленні виробу із штампа. Схема холодного зворотного видавлювання з роздачою в рухомій матриці також забезпечує зниження зусилля видавлювання [3-5], але має місце усунення проблем з виштовхуванням виробу. В свій час експериментальними дослідженнями було показано [6], що швидкість V_0 суттєво впливає на зусилля зворотного видавлювання та температуру здеформованого металу, яка приводить до розігріву інструмента, що деформує. Тому актуальною задачею є проведення досліджень з виявлення впливу швидкості деформування на формоутворення порожнистих виробів за схемою зворотного видавлювання з роздачою в рухомій матриці.

Для виявлення впливу швидкості деформування на холодне формоутворення порожнистих виробів моделювали процес зворотного видавлювання з роздачою в рухомій матриці в середовищі DEFORM. Вихідну заготовку 1 встановлено в рухомій матриці 2 на виштовхувачі 3 (рис. 1). При переміщенні пуансона 4 зі швидкістю деформування V_0 виконується формоутворення виробу 5. При видавлюванні матриця 2 рухається вниз із однаковою швидкістю з пуансоном 4.

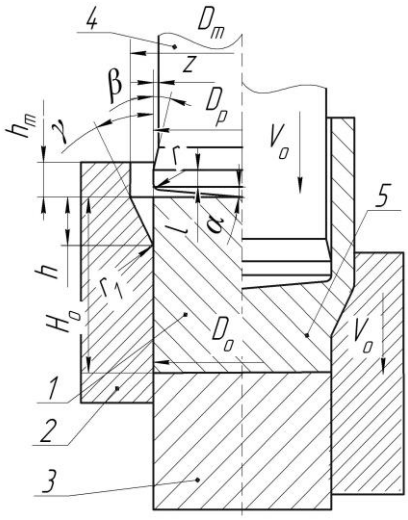


Рис. 1. Схема зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів в рухомій матриці

При моделюванні формоутворення вісесиметричних порожнистих виробів з бронзи BRASS 377 CDA метал заготовки вважався пружно-пластичним зі зміцненням, інструмент, що деформує, – абсолютно жорстким. Враховано вплив тертя по Кулону з коефіцієнтом тертя μ=0,1. Вихідна заготовка мала розміри D_0=48 мм, H_0=52 мм. Розміри інструмента, що деформує, були наступними: D_p=42 мм, $\alpha=\beta=7^o$, $r=r_1$=2 мм, z=0,15 мм, l=2 мм, D_m=52 мм, h_m=8 мм, $\lambda=10^o$.

Швидкості деформування складали V_0=0,14; 2; 7 та 15 мм/с. Розрахунки показали, що збільшення швидкості V_0 приводить до зменшення зусилля видавлювання (рис. 2). Раціональними значеннями швидкостей деформування з точки зору зусилля формоутворення порожнистих виробів з латуні є величини V_0=2…15 мм/с.

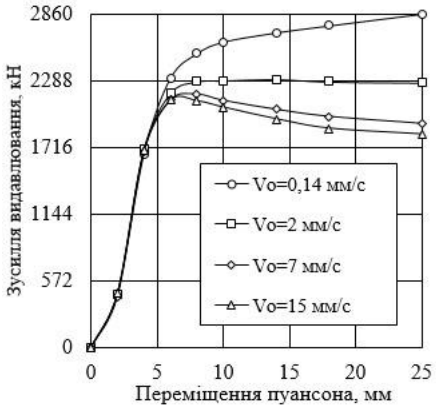


Рис. 2. Залежності зусиль видавлювання при видавлюванні з різною швидкістю деформування

Моделюванням процесу встановлено, що величина швидкості деформування V_0 суттєво впливає на температуру здеформованого металу при видавлюванні порожнистих виробів з латуні. Після видавлювання зі швидкістю V_0=0,14 мм/с температура здеформованого металу підвищується до 29…35ºС в осередку деформації під пуансоном та до 33ºС у стінці. Зростання швидкості V_0 до 2 мм/с приводить до отримання температури в осередку деформації у межах 85…160ºС та стінці – 123…160ºС. Швидкість деформування V_0=7 мм/с ще збільшує температуру здеформованого металу в осередку деформації до величин у межах 133…270ºС та до 170…270ºС в стінці здеформованої заготовки. При видавлюванні з V_0=7 мм/с в здеформованій заготовці температура металу в області переходу стінки у донну частину заготовки досягає величини 325ºС та 160…285ºС у самій стінці. Такі значення температур при холодному штампуванні підтверджуються даними Овчіннікова О.Г. [7].

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. Методом скінченних елементів проведено аналіз холодного видавлювання з роздачою в рухомій матриці вісесиметричних порожнистих виробів, на основі якого встановлено, що збільшення швидкості деформування приводить до зменшення зусилля видавлювання.
2. Визначено температуру здеформованого металу при формоутворенні виробів при деформуванні з різними швидкостями.

Список використаних джерел

1. Ковка и объемная штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
2. Овчинников А.Г. Прямое выдавливание цилиндрических стаканов / А.Г. Овчинииков, А.В. Хабаров // – В кн.: Совершенствование процессов объемной штамповки. – М.: МДНТП, 1980. – С. 103-108.
3. Калюжный В.Л. Сравнительный анализ процессов обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей изделий с полостью постоянного диаметра / В.Л. Калюжный, Л.И. Алиева, И.П. Куликов // Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – №4 (37). – С. 87-92.
4. Калюжний В.Л. Аналіз схем холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів / В.Л. Калюжний, А.М. Потятиник // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк: НТУ, 2017. – №59. – С. 137-143.
5. Калюжный В.Л. Варіанти холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів з виступом на донній частині зі сторони порожнини / В.Л. Калюжний, А.М. Потятиник // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. - №26 (1302). – С. 3-10.
6. Гусинский В.И. Влияние скорости деформирования на усилие холодного обратного выдавливания / В.И. Гусинский, В.П. Мулин, В.В. Новиков // В кн. Совершенствование процессов и оборудования для холодного деформирования. – Воронеж: ЭНИКМАШ, 1978. – С. 19-23.
7. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А.Г. Овчинников. – М: Машиностроение, 1983. – 200.

УДК.621.777.4

Л.І. Алієва, В.М. Левченко, Х.В. Малій
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ПОЕТАПНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ПУСТОТІЛИХ ДЕТАЛЕЙ РУХОМИМИ ФОРМОУТВОРЮЮЧИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ

Підвищення складності конфігурації штампованих деталей забезпечує ефективність і конкурентоспроможність процесів холодного видавлювання. Нові технологічні схеми деформування, що дозволяють отримати видавлюванням деталі зі складним зовнішнім і (або) внутрішнім профілем, змінною товщиною стінки, а також з потовщеннями і фланцями різних видів, відрізняються більш складною кінематикою руху деформуючого інструменту [1, 2].

У процесах поздовжнього видавлювання, як правило, так званий «формуючий інструмент», що формує нову поздовжню бічну поверхню деталі, виконує обтиснення (пряме видавлювання) або роздачу (зворотне видавлювання) [3].

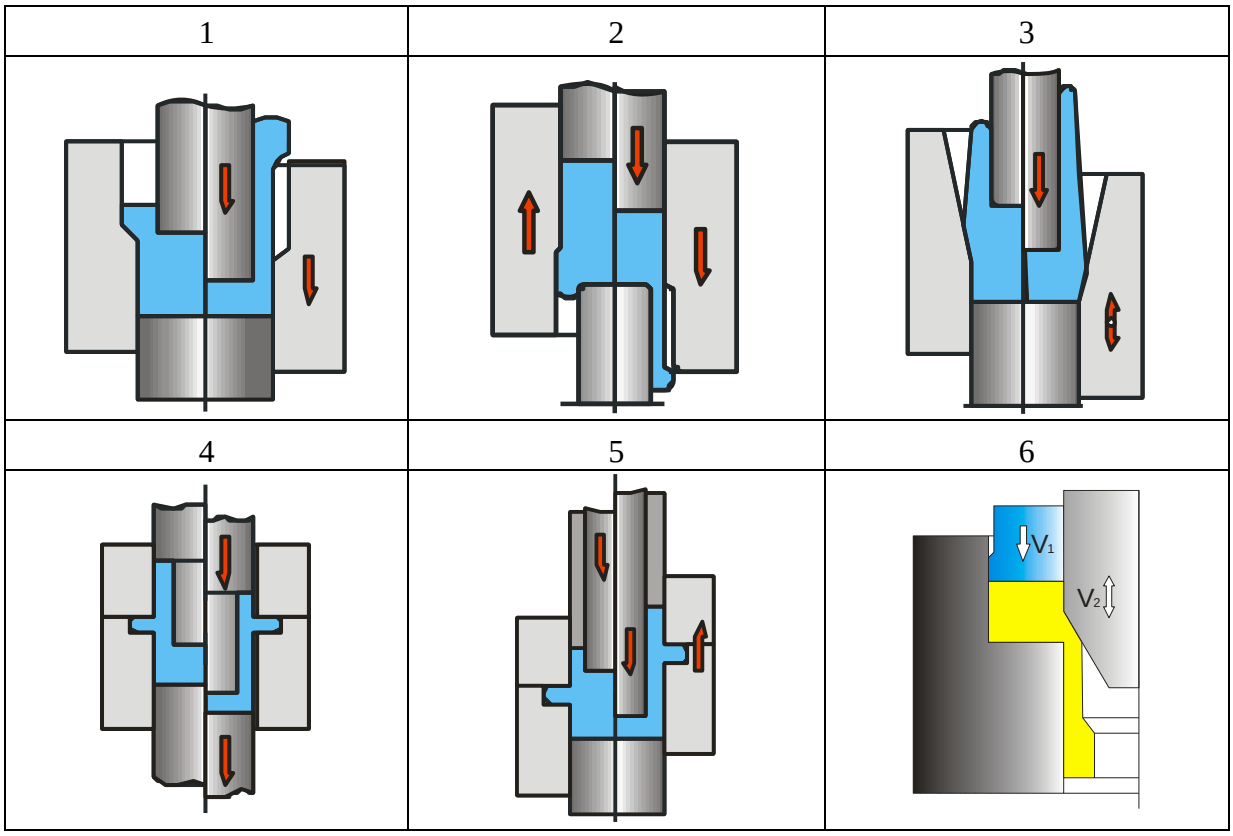


Рис. 1. Способи видавлювання порожнистих деталей

Для ускладнення форми деталі, наприклад, шляхом зворотного видавлювання стакана зі змінною товщиною стінки, в найбільш простих випадках можливе застосування ступеневого «формування». В більшості випадків таким інструментом служить матриця.

Ширші можливості в формоутворенні з'являються при ускладненні кінематики руху інструментів, наприклад шляхом приведення в рух крім пуансона ще одного з інструментів. При деформації вихідних порожнистих заготовок ця ж схема модифікації способів видавлювання може бути використана для ускладнення форми другої бічної поздовжньої поверхні шляхом профілювання або управління додатковим рухом «підтримуючого» інструменту, в ролі якого виступає оправлення. Матриці (рис.1, схеми 1-3) або оправці надають ступінчасту або конічної форми.

Для отримання більш складних деталей з фланцями великого об’єму і розташованими на різній висоті необхідно використовувати способи комбінованого поздовжньо-поперечного видавлювання, активно регулюючи кінематику течії металу в порожнині штампа. Відповідно до технологічних схем 4 і 5 (див. рис. 1) спочатку пунсоном видавлюють метал у фланцеву частину деталі, а потім проводять зворотне видавлювання без відносного ковзання металу по матриці, що досягається за рахунок переміщення противопуансона або матриці із заповненою поперечної порожниною.

Спосіб радіально-прямого видавлювання з обтисненням в штампі з рухливим оправлення (схема 6) спрямовано на отримання трубчастих деталей з профільованими поверхнями і перемінною товщиною стінки [4].

Реалізація запропонованого способу поетапного видавлювання стаканів зі змінною товщиною стінки в новому штампі здійснюється за рахунок того, що пристрій додатково обладнаний проміжної плитою, на якій встановлюється формоутворююча матриця, та приводом для заданого узгодженням переміщення матриці. Виконання у вигляді двох змонтованих на нерухомій плиті гідроциліндрів, штоки, які з'єднані з проміжною плитою, при цьому порожнина матриці виконано профільованою (рис. 3) [5]. За рахунок поетапної зміни положення ступінчастою матриці 10 щодо калібруючого пояска пуансона 6 досягається формоутворення деталі типу стакан зі змінною товщиною стінки.

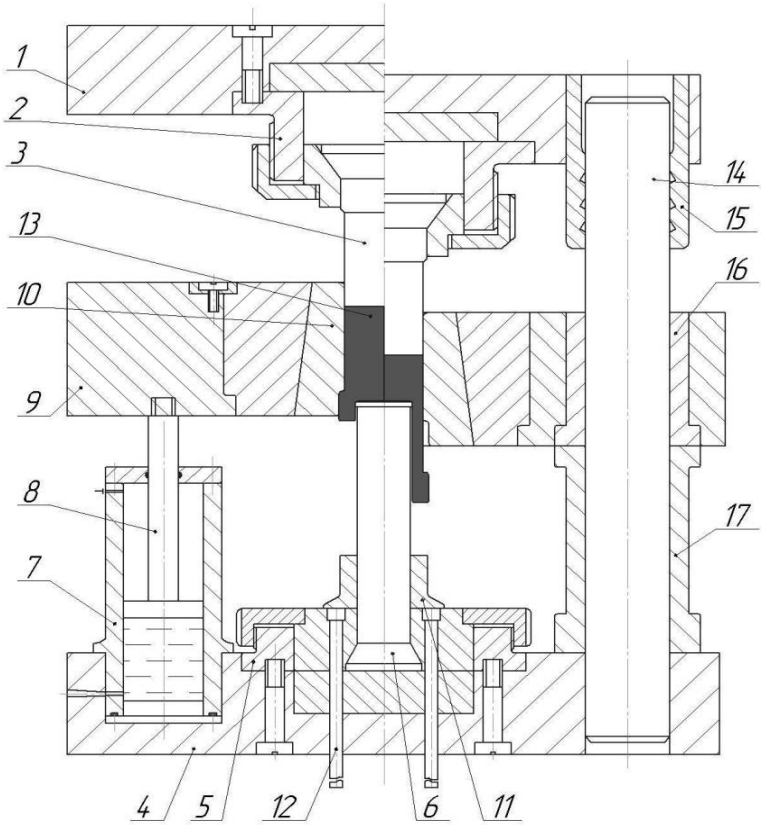


Рис. 2. Схема штампа для реалізації способу комбінованого видавлювання порожнистих деталей з перемінною товщиною стінки

Деякі типи деталей, одержуваних за даними технологічними схемами, представлені на рис.3.

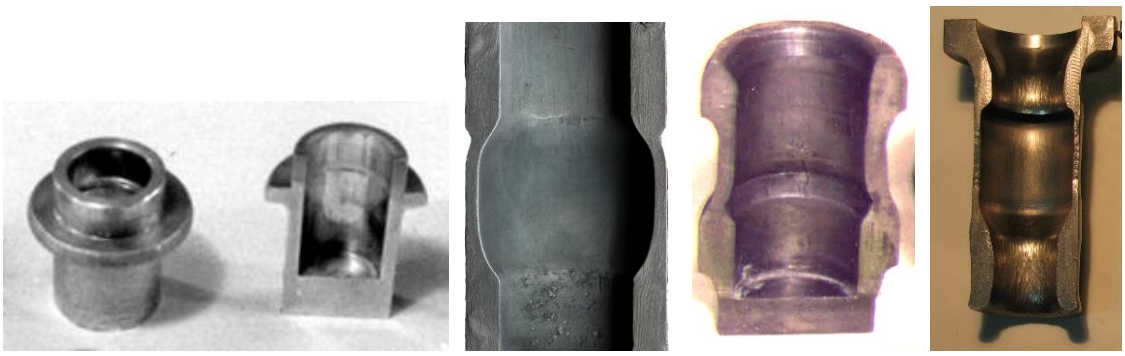


Рис. 3. Характерні типи отриманих деталей з фланцем
та зі змінною товщиною стінки

В ході досліджень виявлено характерні види дефектів і відхилень форми деталей, що отримані за різними схемами комбінованого видавлювання. Для видавлювання стаканів з фланцем характерно відділення фланця або денця, викликане неузгодженістю руху частин штампа (матриці або противопуансона) або їх переміщення по відношенню до положення і швидкості руху пуансона. Дефекти типу утяжин виникають переважно через радіальний плину металу при наближенні пуансона до зони розташування фланця. Фланці, що розташовані у верхніх крайок або в середній частині деталі, не заповнюються через нестачу об'єму металу, що витісняється пуансоном при формуванні порожнистої частини. Можливою причиною цього є передчасна зміна стадій поперечного і зворотного закінчення при комбінованому видавлюванні.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. Систематизовані схеми поетапного видавлювання порожнистих деталей в штампах з додатково рухливими формотворними інструментами. Розроблено та досліджено способи видавлювання деталей типу стакан з фланцем, розташованим на різному рівні по висоті деталі. Запропоновано штамп для реалізації способу видавлювання деталей зі складним зовнішнім профілем.

2. Розроблені способі видавлювання трубчатих деталей з профільованої зовнішньої або внутрішньої поверхнею в штампах з рухомою ступінчастою або конічним оправленням.

3. Підтверджено також досить широкі технологічні можливості нових способів комбінованого видавлювання в рухомих інструментах для виготовлення порожнистих деталей типу стаканів і втулок, в тому числі зі змінною товщина стінки та з профілюванням зовнішньої і внутрішньої поверхні.

Список використаних джерел

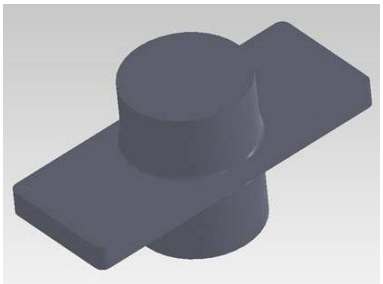
1. Алиева Л. И. Процессы комбинированного деформирования и выдавливания // Обработка материаловдавлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 100–108.
2. Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 2. – С. 7–10.
3. Алієв І.С. Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання / І.С. Алієв // Теорія та практика обробки матеріалів тиском. Колективна монографія. Запоріжжя: Мотор-Січ. 2016. – С. 364-485. – ISBN 978-966-2906-60-8.
4. Aliiev I. S. Press tools for the extrusion hollow parts with complex surface profiles / I. S. Aliiev, L. I. Aliieva, I. G. Zhbankov // 9th International Conference «Research and Development in Mechanical Industry» RaDMI. – Serbia : Vrnjačka Banja, 2009. – September. – P. 139–143.
5. Пат. 108586. Україна, МПК B21J 5/12, B21J 13/02. Пристрій для видавлювання порожнистих виробів з фасонною зовнішньою поверхнею / Л. І. Алієва, заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201600088; заявл. 04.01.2016; опубл. 25.07.2016. – Бюл. № 14.

УДК.621.777.4

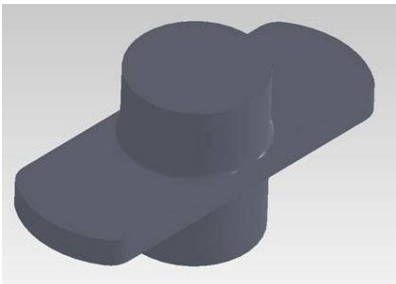
І.С. Алієв, В.М. Левченко, М.Ю. Корденко
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАПІВМАТРИЦЬ НА ФЕСТОНОУТВОРЕННЯ ПРИ БОКОВОМУ ВИДАВЛЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ З ВІДРОСТКАМИ

Процеси видавлювання демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва точних заготовок, розширенню номенклатури штампованих деталей, удосконалення процесів формозміни за рахунок нових способів деформування і конструкцій технологічного оснащення [1]. Технології холодного об’ємного видавлювання дозволяють отримати досить складні вироби, в тому числі з боковими елементами (відростками) [2, 3]. При видавлюванні бокового відростка з прямокутним поперечним перетином на його торцевій поверхні утворюється фестон (відросток отримує випуклу торцеву поверхню за шириною) (рис. 1). В даному випадку утворення фестону зумовлено початковою циліндричною формою заготовки, що використовується для отримання виробу з боковими відростками. Сформований за рахунок цього на початковій стадії фестон в подальшому не виправляється, адже переміщення часток металу на всій торцевій поверхні відростка в прокольному напряму є майже однаковим протягом всього процесу видавлювання. Тому задача розробки конструкції напівматриць для видавлювання деталей з боковими відростками, що дозволяє отримати вироби без фестонів, є актуальною.



а



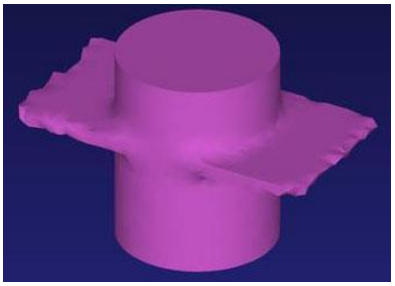
б

Рис. 1. Геометричні моделі деталей з боковими відростками без фестонів (а) та з фестонами (б)

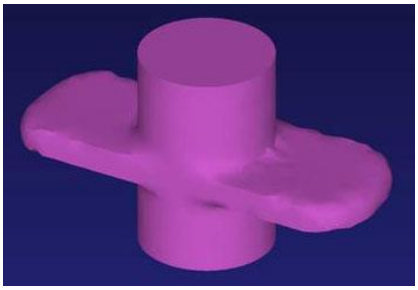
Вочевидь кінцева форма торцевої поверхні бокового відростка залежить від співвідношення швидкостей на торцевій поверхні відростка в процесі видавлювання. Для виправлення фестону потрібно, щоб метал переміщувався на бокових зонах відростку вздовж його осі з більшою швидкістю ніж у середині. Для забезпечення цього було запропоновано використовувати напівматриці зі змінним радіусом крайки отвору.

Методом скінченних елементів (МСЕ) проведено моделювання процесу видавлювання деталей з двома симетрично розташованими боковими відростками. Діаметр заготовки, що видавлюється, брався 28 мм, матеріал – технічний алюміній. Заготовка деформувалася пружно-пластично, інструмент вважався абсолютно жорстким. Подача – одностороння. Ширина відростків дорівнювала діаметру заготовки. Хід пуансона був 14 мм, довжина видавлених відростків дорівнювала 14,5 мм. Товщину відростків варіювали від 3 до 6 мм (відношення товщини відростків до діаметру отвору напівматриць $h/D_м$=0,1…0,2). Коефіцієнт тертя 0,1…0,15. Для моделювання використовували напівматриці з постійним (1 мм) та змінним (від 1 посередині до 3 мм на краях та від 3 посередині до 1 мм на краях) радіусом крайки отвору. В результаті встановлено, що для відносно тонких відростків ($h/D_м$=0,1) фестон зникав у процесі деформації навіть з постійним радіусом крайки отвору напівматриць (рис. 2, а). Для видавлювання відростків з товщиною ($h/D_м$=0,2) застосування напівматриць зі збільшеним на краях радіусом крайки отвору є більш ефективним. Але використання змінного радіусу крайки

у конструкціях напівматриць для відносно товстих відростків все ж є недостатнім для вирівнювання торцевої поверхні та отримання деталей без фестонів (рис. 2, б).



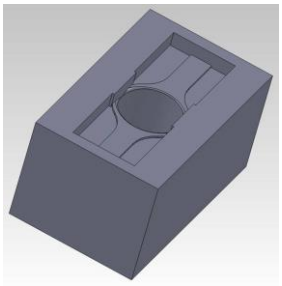
а



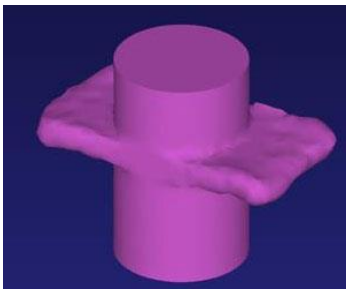
б

Рис. 2. Отримана за результатами моделювання МСЕ форма бокових відростків з відносною товщино $h/D_м$=0,1 (а) та $h/D_м$=0,2 (б)

Тому для створення градієнту швидкості за шириною відростку запропоновано використовувати напівматриці з заглибленням у бокових зонах (рис. 3, а). Це дає змогу зменшити сили тертя на периферії за шириною відростку та забезпечити вирівнювання його торцевої поверхні (рис. 3, б) за рахунок більших швидкостей переміщення бокових зон відростку порівняно з центральною. За результатами розрахунків МСЕ для отримання бокових відростків без фестонів для вказаної вище геометрії заготовки та інструменту оптимальна ширина поверхні тертя становила 0,4…0,5 від ширини відростку при значеннях коефіцієнтах тертя 0,13…0,15.



а



б

Рис. 3. Нижня напівматриця для видавлювання деталей з відносно товстими відростками (а) та результат моделювання процесу видавлювання такої деталі з $h/D_м$=0,2 (б)

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Методом скінченних елементів проведено аналіз холодного видавлювання деталей з боковими відростками, в результаті якого встановлено, що деталі з відносно тонкими відростками можна отримувати без фестонів видавлюванням з використанням напівматриць звичайної конструкції.

2. Для отримання деталей з боковими відростками без фестонів з відносно товстими боковими відростками рекомендується використовувати напвіматриці зі змінною кривизною крайки отворів та конструкцією, що забезпечує зменшення впливу сил тертя на краях за шириною відростків.

Список використаних джерел

1. Алиева Л. И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки / Л. И. Алиева, Я. Г. Жбанков // Вісник ДДМА. Краматорськ. 2008. – № 1 (11). – С. 13–19.
2. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – №6. – С. 1–4.
3. Алиева Л.И., Борисов Р.С. Формообразование утолщений на полых и сплошных заготовках // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – ДДМА, Краматорськ-Слов'янськ, 2003. – С. 262–267.

УДК 621.777.4

І.С. Алієв, А.Д. Самоглядов
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ КОНІЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Аналіз енергосилових параметрів процесу комбінованого видавлювання порожнистих конічних виробів являє собою складну задачу, тому що процес деформування супроводжується нестаціонарною течією металу з двома ступенями свободи, а форма осередку деформації пластичної течії - не визначена [1]. Приклади освоєння процесів комбінованого видавлювання вельми обмежені, тому що вимагають вивчення деформаційного і силового режимів. Рішення даної проблеми нерозривно пов'язане з проведенням досліджень, математичного опису та комп'ютерного моделювання технологічних процесів видавлювання порожнистих конічних деталей.

В роботі [2] представлена математична модель плоского комбінованого видавлювання на основі методу верхньої оцінки (МВО), з використанням модульного підходу до вирішення поставленого завдання. При цьому розглядається роз'їдений осередок пластичної деформації, що складається з двох осередків: зі зворотною і прямою течією металу.

Застосування авторами [3] варіаційного принципу теорії обробки металів тиском дозволило розглянути енергосилові параметри процесу в осесиметричної постановки задачі також з роз'єднаним осередком пластичної деформації.

Процес комбінованого видавлювання конічних деталей, з одностороннім кутом нахилу твірної інструменту не перевищує 20°, полягає в проштовхуванні пуансоном заготовки по конічній матриці (рис.1) з переважним процесом обтиску дна і стінок напівфабрикату, а не є окремо протікаючими процесами зворотного і прямого видавлювання . У зв'язку з цим доцільно прийняти об'єднаний осередок пластичної деформації, аналіз якого полягає у визначенні співвідношення між вихідними швидкостями.

Метою роботи є побудова математичної моделі процесу комбінованого видавлювання порожнистих конічних виробів з об'єднаним осередком пластичної деформації

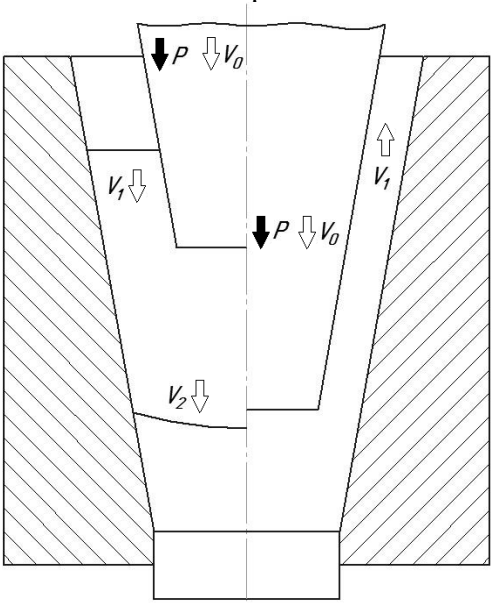


Рис. 1. Схема процесу комбінованого видавлювання порожнистих конічних деталей

Для визначення силового і деформаційного режимів деформування процесу комбінованого видавлювання можна використовувати метод верхньої оцінки, що дозволяє визначити не тільки силові характеристики, а і постадийну зміну розмірів напівфабрикату.

Даний метод досить оперативний, може спиратися на експериментально спостережувані картини перебігу і добре адаптується до сучасних ПК. Наявність процедури мінімізації та поліпшення одержуваних рішень також є важливою позитивною особливістю методу, що дозволяє варіювати і оптимізувати технологічні параметри і умови деформування [4].

МВО передбачає при вирішенні задач використання деяких припущень: плоскодеформований стан; вздовж кордонів елементів дотичні компоненти швидкостей переміщень зазнають розриви; всередині кожного кінематичного елемента поле швидкостей однорідно, а умови контактного тертя заздалегідь задані. Оскільки МВО передбачає вирішення завдання тільки на стаціонарній стадії деформування, а процес комбінованого видавлювання є нестаціонарним, то розглядаємо сукупність послідовних квазістаціонарних стадій видавлювання. Внаслідок цього визначення приросту розмірів здійснюється для кожної стадії, що дозволяє встановити загальні зміни розмірів по ходу процесу.

При розробці математичної моделі розрахункову схему з кінематично можливим полем швидкостей і годограф швидкостей поміщають в систему координат (рис. 2). Подальші обчислення зводяться до визначення коефіцієнтів рівняння прямої (зміщення прямої по осі ординат і тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис). Знаючи коефіцієнти рівнянь прямих, що описують кордони ковзання жорстких блоків і координати їх вершин, можна визначити положення всіх точок, що характеризують рух частинок відповідних кінематичних елементів.

Застосування даної методики дозволило визначити горизонтальні і вертикальні компоненти швидкостей руху частинок кінематичних елементів при варіюванні кінематично можливого поля швидкостей в широкому діапазоні.

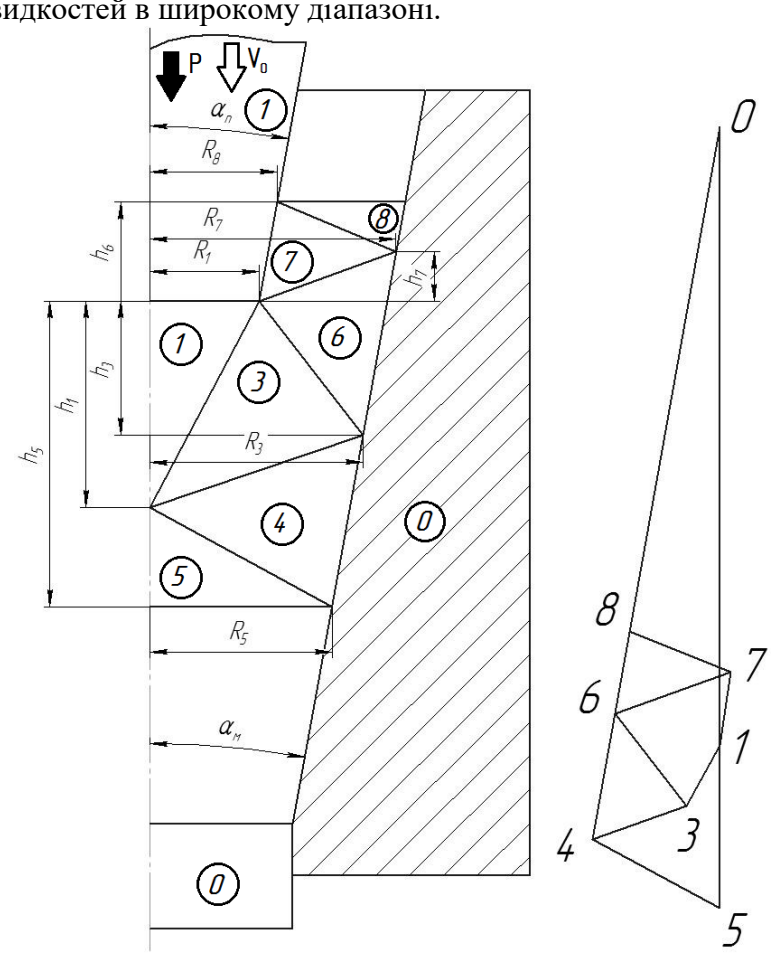


Рис. 2. Схема розривного поля та годограф швидкостей

Використання комплексу програмного забезпечення для інженерних розрахунків Mathcad дозволило якісно і швидко реалізувати запропоновану модель. Розрахункові модулі Mathcad забезпечили не тільки швидкість проведених розрахунків, а й можливість візуалізації годографа швидкостей, що дозволяє знизити витрати часу на перевірочні розрахунки. Застосування

Mathcad, як оболонки для автоматизованого проектування робить математичну модель наочної і зрозумілої для сприйняття.

Результати проведених математичних експериментів по розробленої моделі при кутах матриці $\alpha_м$ і пуансону $\alpha_п$ наведені на рис. 3 у вигляди залежності приведеного тиску деформування $\overline{p} = p / \sigma_s$ від ходу пуансона h при різних умовах контактного тертя на поверхні матриці і пуансоні (коефіцієнті тертя Зибеля $\mu_s = 0,5$ и $\mu_s = 0.08$).

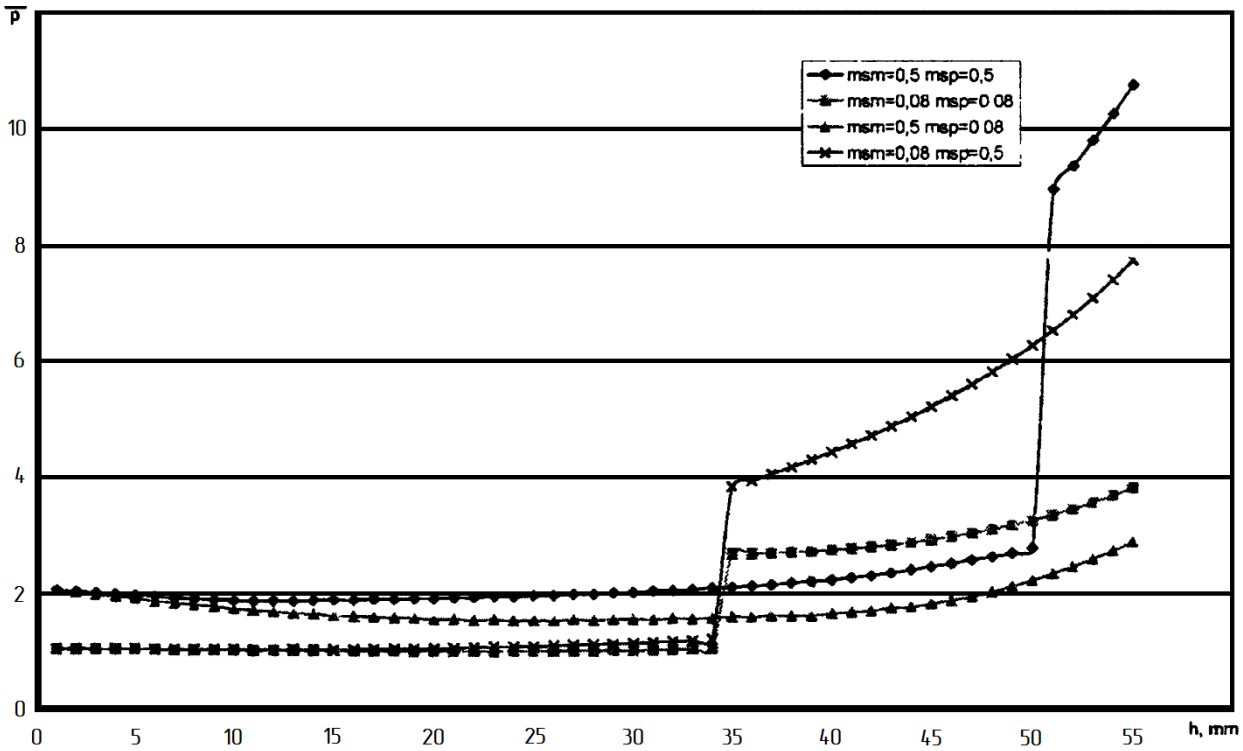


Рис. 3. Залежності приведеного тиску деформування $\overline{p}$ від ходу пуансона h при різних умовах тертя: $\alpha_м = \alpha_п = 10°$

Представлено математичну модель процесу комбінованого видавлювання порожнистих конусних деталей. Проведено аналіз процесу комбінованої течії металу, виведені розрахункові вирази для визначення силового режиму і прогнозування формозміни заготовки. За результатами аналізу отриманих даних можна зробити висновок про те, що зі збільшенням умов контактного тертя на пуансоні наведене тиск зростає. Наявність різкого стрибка на графіку означає перехід до стадії зворотного видавлювання, коли нижній край напівфабрикату торкнувся контрпуансону. У разі, коли відсутня стрибок - наявність незаповнення гравюри штампа.

Список використаних джерел

1. Піманов В. В. Холодне видавлювання конічної порожнистої заготовки/В. В. Піманов, С. Ф. Сабол, Є. М. Коробка // Матеріали міжнародної наук.-тех. конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», м. Одеса, 22–25 червня 2015 р. – Одеса-Київ: 2015. –С. 62–64.
2. Алиев И.С. Исследование технологического процесса выдавливания полых конических деталей / И.С. Алиев, Ю.А. Кащенко, В.П. Ерёмин // Прогрессивные технологии, оборудование и оснащение для интенсификации процессов обработки давлением: сб-к наук. трудов. - К: УМКВ. 1991. - С. 22-31.
3. Экк Е.В. Определение формоизменения и усилия комбинированного выдавливания полых поковок конической формы / Е.В. Экк, А.Е. Даммер, В.А. Кононов // Известия вузов. Черная металлургия. - 1983 - № 2. - С. 46-50.
4. Моделирование процессов комбинированного выдавливания / И.С. Алиев, Е.М. Солодун, А.А. Носаков, К. Крюгер // Nowe technologie и osiqgniecia w metalurgie и inzynierii materialowej. II Miedzynarodowa sesja naukowa - Czestochowa: Wydawnictwo Wydzialu Metalurgii и Inzynierii Materialowej Politechniki Czestochowskiei, 2001. –S. 195-200.

УДК 621.777.4

І.С. Алієв, П. Б. Абхарі, О.А. Кузенко
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ ЗІ ЗМІННОЮ ТОВЩИНОЮ СТІНКИ В ПРОЦЕСІ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Розвиток машинобудування в сучасних умовах вимагає розробки нових, більш досконалих технологій одержання високоякісних заготовок з мінімальною собівартістю.

Основною вимогою машинобудування є максимальне наближення розмірів і конфігурації заготовок до чистових деталей, підвищення їх механічних властивостей і зниження собівартості. Чим ближче розміри заготовок до готових деталей і чим вище їх механічні властивості, тим легше їх вага і менше трудомісткість подальшої обробки різанням[1].

Технологічні процеси видавлювання відрізняються різноманітністю можливостей, різноманіттям і високою ефективністю в порівнянні з іншими процесами формоутворення деталей. Пошук нових схем деформування, спрямованих на підвищення якості деталей, складності їх форми, стійкості інструменту доцільно здійснити в області нових схем деформування. До таких способів можна віднести поперечне і комбіноване поздовжньо-поперечне видавлювання, видавлювання рідиною високого тиску і локальним навантаженням, видавлювання з протитиском[2].

Складнопрофільовані порожнисті вироби типу стакан широко поширені в промисловості, традиційно виготовляють холодним поздовжнім (зворотним або прямим) видавлюванням. Для отримання деталей типу «стакан з високим фланцем» представлений спосіб комбінованого видавлювання в рухомих матрицях з вільною течією металу[3].

Метою роботи є підвищення ефективності процесів штампування порожнистих деталей складної конфігурації на основі моделювання, розробка та застосування технологічного способу комбінованого видавлювання порожнистих деталей в рухомих матрицях з вільною течією металу з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) в середовищі Qform 2D/3D [4].

На основі методу скінченних елементів проаналізовано формозміну заготовки в процесі комбінованого видавлювання порожнистих деталей зі змінною товщиною стінки (рис. 6.38). Вихідними геометричними даними для моделювання взято R_m=18 мм, R_n=15 мм, $R_ф$=27 мм, r_n=3 мм, r_m=3 мм. Використання різних схем кінематичного впливу на заготовку дозволяє отримувати деталі зі змінною товщиною стінки. особливістю такого процесу є утворення дефекту у вигляді прострілу на внутрішній поверхні деталі.

Проаналізувавши деформацію під час процесу було виявлено, що максимальна деформація на стадії утворення першого фланця спостерігалася на зовнішніх торцях фланцю, а середня величина деформації – розподілилася на поверхні зіткнення торця пуансона з заготовкою. На стадії формування стінки деталі максимальна деформація збільшилася. Максимальний ступінь деформації спостерігався на внутрішній частині стінки деталі.

Для більш детального аналізу введемо умовні позначення: $r_n / s = \bar{r}_n$ – відносний радіус заокруглення пуансона; $a/s = \bar{a}$ – відносне незаповнення; $R_Д / s = \bar{\eta}$ – відносна ширина каналу; $R_Д / R_M = \bar{R}_Д$ – відносний радіус фланця деталі; $s / R_M = \bar{s}$ – відносна товщина стінки стакана; $z / s = \bar{z}$ – відносний зазор між торцем пуансона і торцем матриці; k – ширина каналу плину металу при певному положенні інструменту.

В процесі аналізу встановлено, що основними геометричними параметрами, що впливають на формоутворення деталі є значення зазору між торцем пуансона та торцем матриці

z та зазору між внутрішньою поверхнею матриці та зовнішньою поверхнею пуансона S. Розрахунок методом скінченних елементів проводився в трьох різних положеннях зазору між торцем пуансона та торцем матриці: $z=0$; $z=R_M - R_П$; $z=2(R_M - R_П)$. Розрахункові схеми процесу комбінованого видавлювання в рухомих матрицях з вільною течією металу наведені на рис. 1.

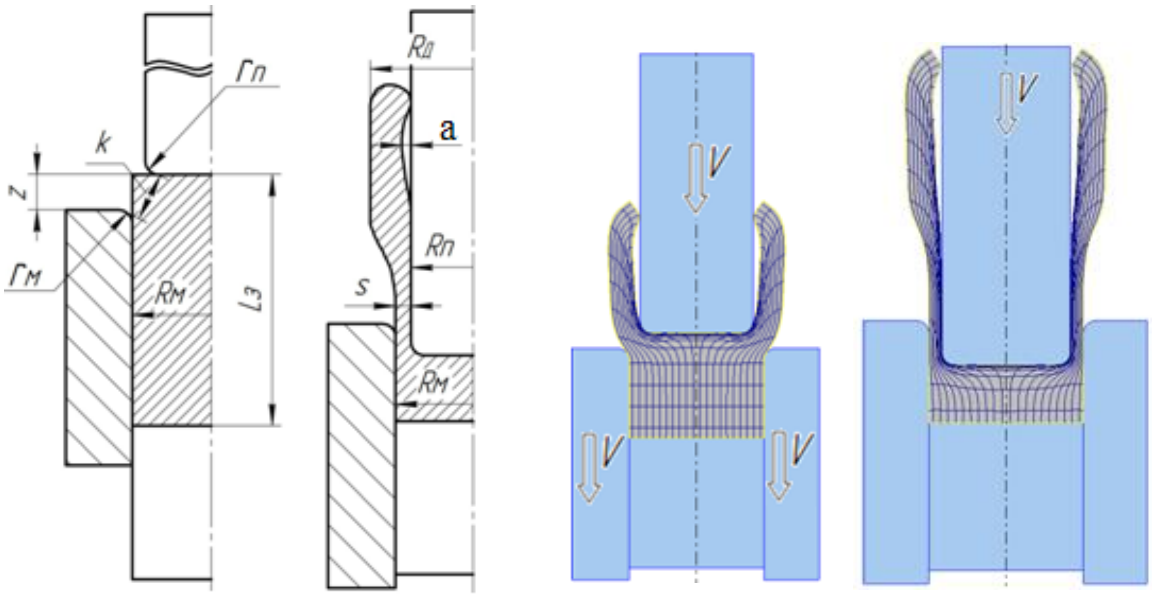
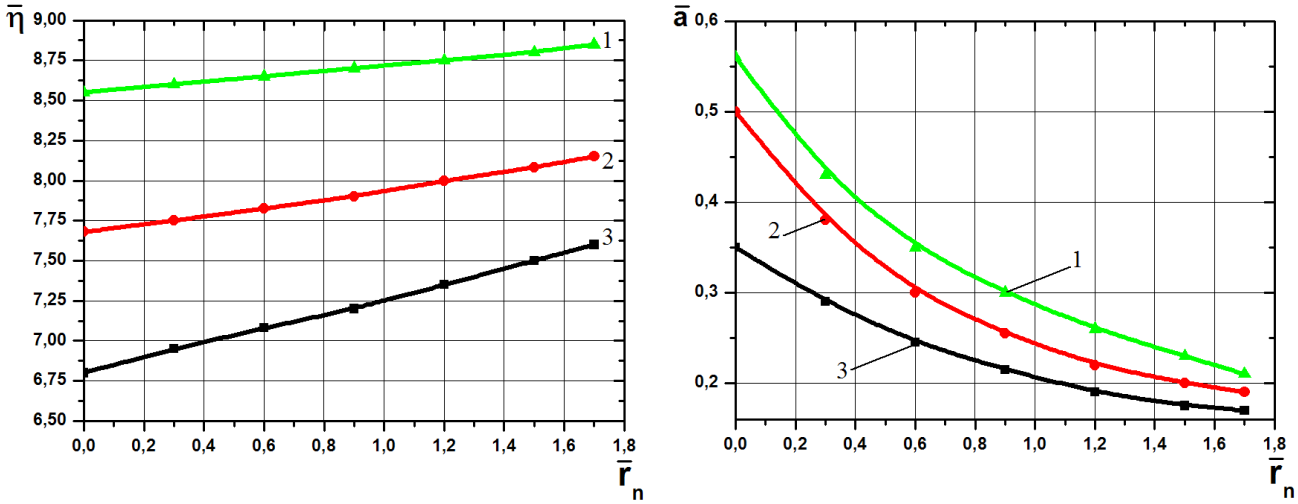


Рис. 1. Розрахункові схеми процесу комбінованого видавлювання порожнистих деталей в рухомих матрицях з вільною течією металу

Варіювання параметрами z і S дозволяє отримати деталі різної конфігурації, що розширює номенклатуру виробів. На рис. 2 (а) зображено графік залежності відносної ширини каналу від відносного радіуса заокруглення пуансона при різних величинах зазору між торцем пуансона та торцем матриці (z=0; 4; 8 мм), з цього графіка видно, що при збільшенні відносного радіуса заокруглення пуансона в діапазоні від 0 до 1,67 (100%), відносна ширина каналу збільшується від 6,69 до 7,56 (12%) для z=0 мм, від 7,7 до 8,16 (6%) для z=4 мм, від 8,5 до 8,7 (2%) для z=8 мм. Також можна визначити, що значне збільшення радіуса фланця деталі буде спостерігатися при зазорі z=0 мм, а незначне збільшення – при зазорі z =8 мм, це пов’язано з величиною незаповнення, яке має своє максимальне значення при зазорі 8 мм. Різниця у відсотковому значенні складає 40% між графіками залежності при зазорах 0 мм, 4 мм та 30% між графіками залежності при z=4 мм і z=8 мм.

На рис. 2 (б) зображено графік залежності величини незаповнення від відносного радіуса заокруглення пуансона при різних величинах зазору між торцем пуансона та торцем матриці (z=0; 4; 8 мм), з цього графіка видно, що при збільшенні відносного радіуса заокруглення пуансона в діапазоні від 0 до 1,67 (100%), величина відносного незаповнення зменшується від 0,35 до 0,18 (49%) для z=0 мм, від 0,5 до 0,19 (61%) для z=4 мм, від 0,56 до 0,21 (62%) для z=8 мм. З графіка залежності величини незаповнення від відносного радіуса заокруглення пуансона можна визначити, що відбувається інтенсивне зниження величини незаповнення, також можна визначити, що максимальні значення незаповнення будуть при z=8 мм, а мінімальні значення при z=0 мм. Різниця у відсотковому значенні складає 35% між графіками залежності при зазорах 0 мм і 4 мм та 15% між графіками залежності при z=4 мм і z=8 мм.



а б

Рис. 2. Графіки залежності відносної ширини каналу від відносного радіуса заокруглення пуансона (а) та відносного незаповнення від відносного радіуса заокруглення пуансона (б) при різних величинах зазору: 1 – z=8 мм; 2 – z=4 мм; 3 – z=0 мм

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Для отримання деталей з різною товщиною стінки розроблені схеми кінематичного впливу на заготовку. Встановлено, що основними геометричними параметрами, які впливають на формоутворення деталі є значення зазору між торцем пуансону та торцем матриці z та зазору між внутрішньою поверхнею матриці та пуансоном S. Варіювання параметрами дозволило отримати деталі різної конфігурації, що розширює номенклатуру виробів. Побудовані графіки залежності відносної ширини каналу від відносного радіуса заокруглення пуансона при різних величинах зазору показали значне збільшення радіуса фланця деталі при зазорі z=0 мм, а незначне збільшення – при зазорі z=8 мм, це пов'язано з величиною незаповнення, яке має своє максимальне значення при зазорі 8 мм. Також графік відносного незаповнення від відносного радіуса заокруглення пуансона при різних величинах зазору показав, що відбувається інтенсивне зниження величини незаповнення, максимальні значення незаповнення будуть при z=8 мм, а мінімальні значення при z=0 мм.

Список використаних джерел

1. Алиева Л. И. Определение величины утяжины в процессе радиально-продольного выдавливания в разъемных матрицах / Л. И. Алиева, П. Б. Абхари, К. В. Гончарук // Вісник НТУ «ХПІ» : зб. наук. праць. Серія : Інноваційні технологій та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків, 2014. – № 44 (1087). – С. 3–7.
2. Investigation of defect in combined precision extrusion process with multiple ram / I. Aliiev, L. Aliieva, P. Abhari, K. Goncharuk // XVI International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. – Series : Monographs. – Czestochowa, 2015. – №48. – P. 90–93.
3. Abhari Payman. Finite Element Simulation of Flashless Radial Extrusion Process / Payman Abhari, Igramotdin Aliiev // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, Volume 14, Issue 4 Ver. III (Jul. – Aug. 2017), PP 79-83, http://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/pages/14(4)Version-3.html, DOI: 10.9790/1684-1404037983.
4. Abhari Payman. Application of Numerical Simulation to Investigate Material Flow in Hollow Radial Extrusion/ Payman Abhari // International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology (IJSRSET). – July-August-2017. – Volume 3. – Issue 5. – p. 556–560. – ISSN 2394-4099. – http://ijsrset.com/archive.php?v=6&i=18&pyear=2017, DOI : 10.32628/IJSRSET1734145.

УДК 621.778

В. М. Петля[1], О. С. Бобух[2], В. В. Андреєв[2]
1 – ПрАТ «Гарант Метиз Інвест», м. Дніпро
2 – Національна металургійна академія України, м. Дніпро

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВОЛОЧІННЯ ДРОТУ У ПП QFORM

Дріт і вироби з нього (канати, пружини, металеві сітки і т.п.) знаходять масове застосування практично у всіх галузях економіки і визначають ефективність роботи багатьох складних машин і конструкцій [1]. Основою технологічних процесів виробництва дроту є спосіб обробки металу тиском, а саме процес волочіння. Виробляти конкурентоспроможну дріт можна, тільки володіючи сучасними технологічними процесами, такими як на підприємстві ПрАТ «Гарант Метиз Інвест». ПрАТ «Гарант Метиз Інвест» володіє обладнанням провідних світових компаній свого сегменту машинобудування та інфраструктури до них, а саме: волочильні машини виробництва компанії KOCH, Німеччина, лінія оцинкування дроту в складі учасників I.C.E. Group, Канада, M + E, Італія, машини для виробництва сітки зварної оцинкованої компанії SCHLATTER, апарат для намотування дроту Collari а також інфраструктура до надання обладнання в складі Boxy, Bremer, Sandvik. Paramount, BT, Carrara, Traxit, Henkel і тд.

Для зазначеного процесу деформації (волочіння) створено промислове виробництво обладнання, інструменту, основних і допоміжних матеріалів [2]. В силу простоти виготовлення і застосування найбільшого поширення в якості інструменту під час волочіння отримала монолітна волока. До теперішнього часу проведено велику кількість досліджень, спрямованих на підвищення ефективності процесу волочіння в монолітних волоки, що дозволяє і сьогодні залишатися цьому способу конкурентоспроможним. Однак технологічні процеси виробництва дроту, які засновані на волочінні в монолітних волоках, багатоциклічні і ресурсовитратні. У монолітній волоці дуже складно управляти течією металу, а отже, і активно впливати на характер зміни властивостей металу. Крім того, однопоточні протяги металу в монолітній волоці сприяють інтенсифікації втрати пластичних властивостей дроту.

В даній роботі представлені результати математичних досліджень, метою яких було аналіз деформаційних режимів процесу волочіння проволоки за основними маршрутами, які використовуються в умовах ПрАТ «Гарант Метиз Інвест»; побудова математичної моделі процесу волочіння у ПП QForm та аналіз точності отриманих результатів (використання програмного продукту QForm забезпечене в рамках угоди про використання пробної навчальної ліцензії програми QForm 8 між Micas Simulations Limited (м. Оксфорд, Великобританія) та кафедрою обробки металів тиском ім. акад. О. П. Чекмарьова НМетАУ (м. Дніпро, Україна) – agreement No. MSL2015_10_5 від 28.10.2015 р.).

Аналіз умов виробництва проволоки за основними технологічними маршрутами ПрАТ «Гарант Метиз Інвест» показав, що найбільш розповсюдженими є: маршрут №1 (∅5,5 → ∅1,8 мм) та маршрут №2 (∅5,5 → ∅0,85 мм), які було обрано за основу для побудови математичної моделі [3]. За еталонний варіант виробничого маршруту обрано «паспортний» режим виробництва дроту ∅1,8 мм із вихідної заготовки ∅5,5 мм (завдяки отриманим у паспорті даних про силу волочіння в процесі досліджень можливо буде більш точно оцінити адекватність розробленої математичної моделі шляхом порівняння їх з теоретично отриманими даними).

За основу прийняті волоки, що застосовуються у виробничих цілях ПрАТ «Гарант Метиз Інвест» та відповідають ГОСТ 9453 [4]. По отриманим геометричним параметрам деформуючого інструменту будується 2D креслення (рис. 1). При цьому, задача вважається вісісиметричною.

Вихідними даними для моделювання процесу волочіння у ПЗ QForm є:

- 2D моделі деформуючого інструменту;

- 2D модель заготовки. Були прийняті наступні параметри: марка сталі – сталь 55 по ГОСТ 1050 [5] (дані по реологічним властивостям сталей обирались із бази даних у ПЗ QForm); довжина дроту вихідної заготовки – 1650 мм;
- технологічні параметри процесу волочіння: швидкість волочіння (відповідно до технологічних умов виробництва); закон тертя по Леванову із показником тертя 0,2, що відповідає традиційним умовам волочіння [3]; теплообмін металу з інструментом – простий; початкова температура заготовки та інструменту - 20 ºС.

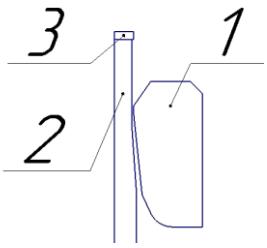


Рис. 1. Схематичне зображення складального креслення у графічному редакторі: 1 – волока; 2 – заготовка; 3 – пристрій, що тягне

На першому етапі досліджень з метою оцінки точності розробленої математичної моделі був проведений розрахунок формозміни і силових параметрів деформації дроту у волоках, що відповідають переходам волочіння паспортної технології волочіння дроту з кінцевим діаметром 1,8 мм, що проводиться з кінцевою швидкістю 15 м/с. Результати цього розрахунку дозволили отримати режими волочіння, що наведені на рис. 2 та рис. 3.

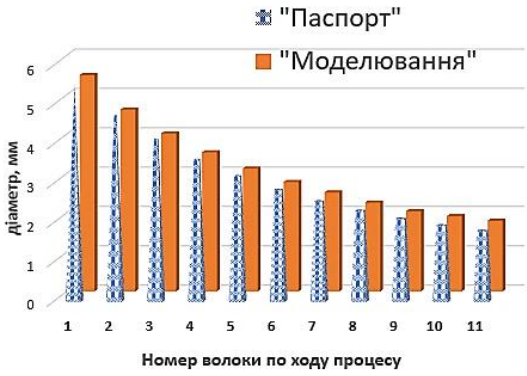


Рис. 2. Порівняння діаметру дроту за «паспортом» та моделюванням

Рис. 3. Порівняння сили волочіння за «паспортом» та моделюванням

Аналіз рис. 2 показує, що в чинній «паспортній» технології діаметри волок обрані раціонально, так як має місце закономірне зниження інтенсивності зменшення діаметрів у міру руху дроту до останньої волоки. Але відповідно до рис. 3 логаріфмична деформація дроту по переходах змінюється з явним наявністю трьох стадій волочіння: 1-а стадія - переходи 2-5, 2-а стадія - переходи 6-8; 3-я стадія – переходи 9-10. Раціональніше не створювати такі явно відокремлені стадії для підвищення рівномірності деформації.

У розподілі сили волочіння (рис. 4) є також раціональний підхід, який виражається поступовим зниженням вказаного параметра. Наслідком цього повинен бути рівномірний розподіл напружень по перерізу дроту, який також можна оцінити за допомогою даних математичного моделювання.

Максимальна похибка при порівнянні отриманих даних по силі волочіння між «паспортними» даними і тих, що отримані за допомогою МСЕ складає ≈12-14%, що задовольняє вимогам до технічних розрахунків та підтверджує точність розробленої математичної моделі.

Наступним, другим, етапом досліджень було аналіз діючих на ПрАТ «Гарант Метиз Інвест» маршрутів волочіння дроту, що наведені вище (маршрут №1, №2).

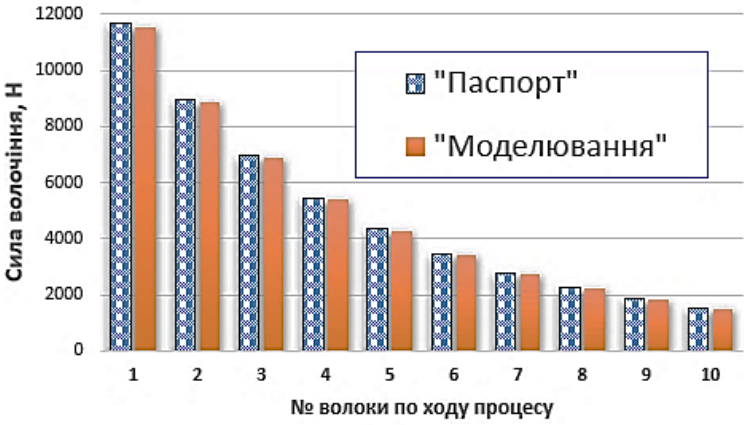


Рис. 4. Зміна сили волочіння за «паспортними» та теоретичними даними

Одним із параметрів, який служить для оцінки стабільності процесу деформування є рівномірність розподілу деформацій по ходу процесу. З метою оцінки стабільності процесу волочіння для розглянутих розрахункових маршрутів («заводських») деформації дроту ∅1,8 мм та ∅0,85 мм в роботі проаналізовано одиничний та сумарний ступінь деформації, характер розподілу якого наведено на рис. 5 та рис. 6, відповідно.

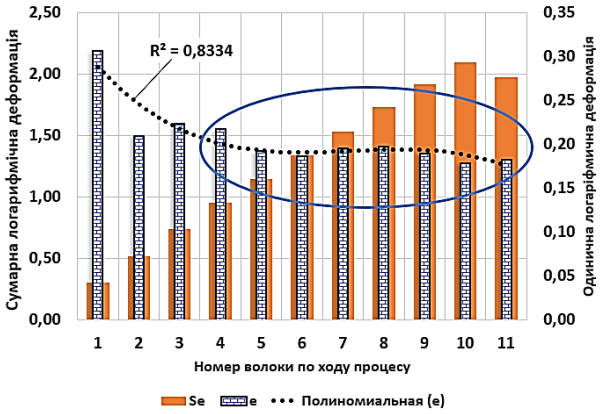


Рис. 5. Аналіз зміни ступеня деформації при волочінні дроту ∅1,8 мм

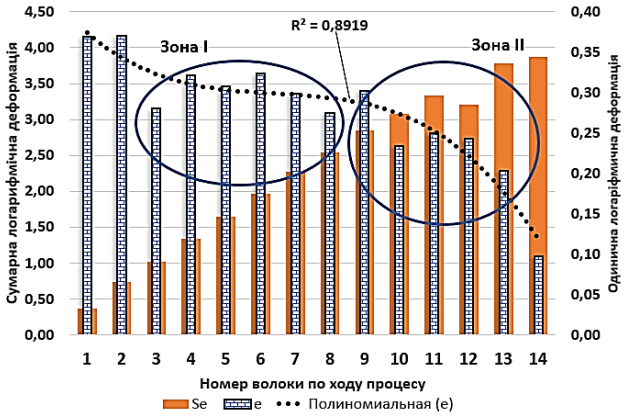
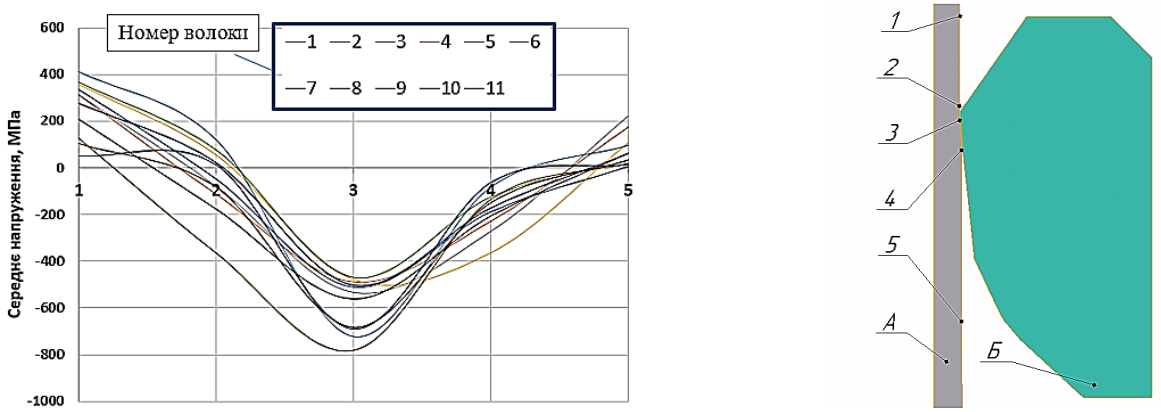


Рис. 6. Аналіз зміни ступеня деформації при волочінні дроту ∅0,85 мм

Характер розподілу деформацій, який обрано при проектуванні режиму деформації проволоки ∅1,8 мм (рис. 5), порівняно рівномірний та характеризується плавним зниженням ступеня деформації від 1-ї до 5-ї волоки та наступною постійністю деформації до кінця процесу волочіння. Даний характер розподілу дозволяє отримати більш рівномірний розподіл напружень в металі, що виникають під час деформації, що в свою чергу підтверджується даними математичного моделювання та аналізу, який приведений на рис. 7.

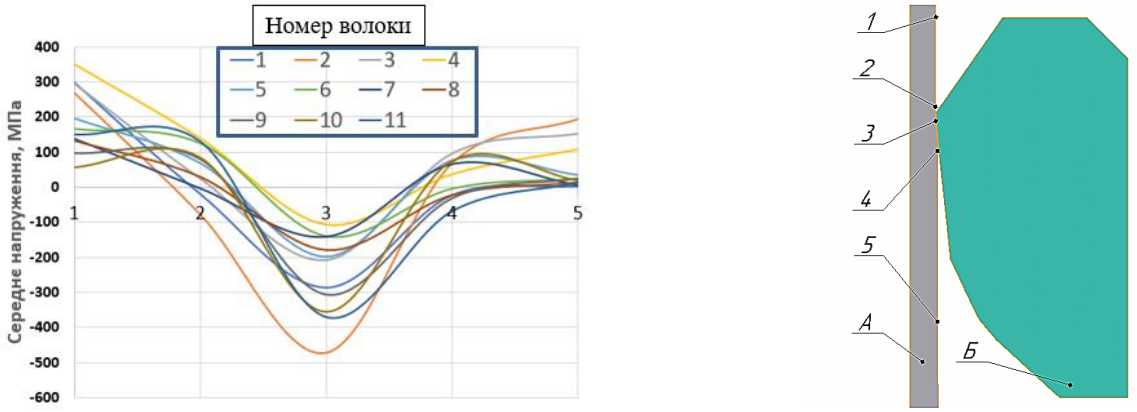
Також видно, що даному режиму властива наявність більшої кількості стискаючих напружень, котрі в свою чергу, більш позитивно позначається на стабільності процесу. Також видно, що величина найбільших розтягуючих напружень не перевищує 400 МПа.

Аналізуючи дані, що приведені на рис. 6 видно, що обраний процес деформації характеризується наявністю декількох зон, зона I та зона II. При цьому, зона I характеризується постійністю ступеня деформації на протязі ділянок волок №3-8; зона II – в протилежність зоні I – характеризується суттєвим спадом часткового ступеня деформації. Наявність вказаних зон в свою чергу може призвести до нерівномірності розподілу напружень по довжині осередка деформації, що підтверджується даними розподілу середніх напружень (рис. 8). Видно, що на виході із волоки присутні розтягуючи напруження з величиною від 100 МПа до 350 МПа.



а б

Рис. 7. Аналіз величини середніх напружень під час волочіння дроту ∅1,8 мм: а – розподіл напружень по контрольним точкам осередка деформації; б – схема для визначення контрольних точок в осередку деформації.



а б

Рис. 8. Аналіз величини середніх напружень під час волочіння дроту ∅0,85 мм: *а* – розподіл напружень по контрольним точкам осередка деформації; *б* – схема для визначення контрольних точок в осередку деформації.

Висновки:

1. Розроблено математичну модель розрахунку параметрів процесу волочіння дроту у ПП QForm. Максимальна похибка при порівнянні отриманих даних по силі волочіння та геометричним розмірам дроту між «паспортними» даними і тих, що отримані за допомогою ПП QForm складає ≈12-14%.
2. Отримали подальший розвиток відомості о напружено-деформованому стані металу в залежності від ступеня часткових логарифмічних деформацій в діапазоні величин 0,03-0,35 та швидкостях волочіння 15-25 м/с при волочінні тонкого дроту. Це дозволяє більш точно визначати стабільність процесу волочіння та удосконалювати режими деформації шляхом вибору більш рівномірного розподілу одиничних деформацій по ходу процесу волочіння.

Список використаних джерел

1. Рудской, А. И. Волочение : учеб, пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев, О. П. Шаболдо. - СПб. : Изд-во Политехи, ун-та, 2011. - 126 с.
2. Технология и оборудование трубного производства : учеб, пособие для вузов / В. Я. Осадчий, А. С. Вавилкин, В. Г. Зимовец, А. П. Коли-ков ; под ред. В. Я. Осадчего. - М. : Интермет Инжиниринг, 2007. - 560 с.
3. Технологическая инструкция № 10 – 1 / Частное акционерное общество «Гарант Метиз Инвест» - г. Желтые Воды, 2018 г.
4. ГОСТ 9453-75 Волоки-заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения проволоки и прутков круглого сечения (с Изменениями N 1, 2, 3). - Группа В56. - Введен в действие: 01.01.77.
5. ГОСТ 1050-99. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2010. – 23 с.

УДК 621.983

В.Л. Калюжний, К.К. Таранець
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ГАРЯЧЕ ВИДАВЛЮВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ ІЗ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Вісесиметричні порожнисті вироби в основному отримують зворотним видавлюванням. Застосування рухомої матриці при зворотному видавлюванні дозволяє отримувати вироби із зовнішнім діаметром, який більший за діаметр вихідної заготовки. Формоутворення в такій матриці забезпечує зниження зусилля деформування [1]. Схема видавлювання в рухомій матриці пуансоном з конусним торцем показана на рис. 1. Ліворуч від вісі симетрії наведене положення перед видавлюванням, праворуч – в процесі видавлювання. Вихідну заготовку 1 встановлюють матриці 2 на виштовхувачі 3. Деформування заготовки 1 виконують за допомогою пуансона 4. При видавлюванні матрицю 2 опускають вниз з однаковою швидкістю із пуансоном 4 і виконується формоутворення виробу 5. Діаметр D_m виробу 5 більший за діаметр D_0 заготовки 1 завдяки роздачі в тангенціальному напрямку. При цьому у вказаному напрямку зменшуються по абсолютній величині напруження σ_θ та гідростатичний тиск σ_{cp} в осередку деформації, що є причиною зменшення зусилля деформування в порівнянні з традиційним зворотним видавлюванням. В теперішній час відсутні дані по впливу конструктивних і технологічних факторів на гаряче формоутворення виробів із високовуглецевої сталі по схемі зворотного видавлювання в рухомій матриці. Використання методу скінченних елементів (МСЕ) дозволяє виявити параметри гарячого видавлювання, які не потребують допрацювання експериментальними роботами [2].

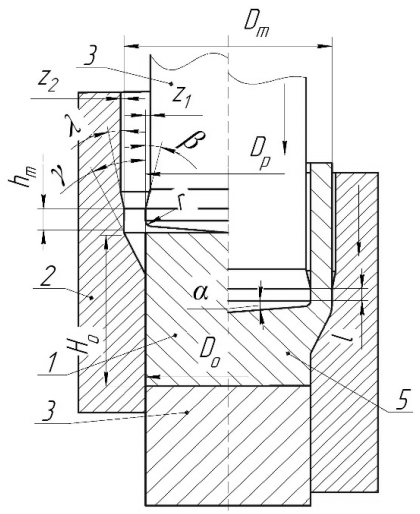
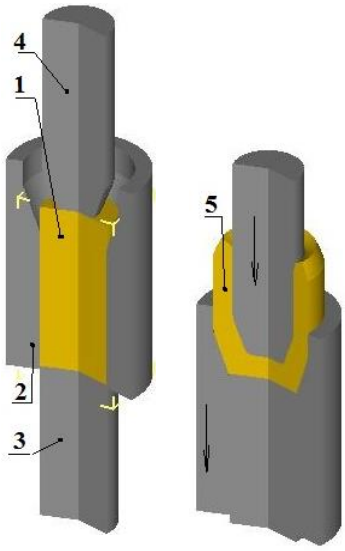


Рис. 1. Схема видавлювання в рухомій матриці

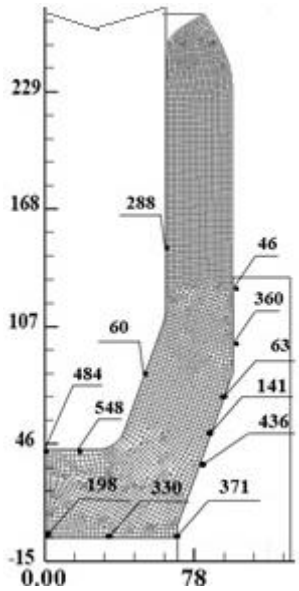
Метою даної роботи є встановлення за допомогою МСЕ параметрів гарячого зворотного видавлювання в рухомій матриці вісесиметричного порожнистого напівфабрикату із високовуглецевої сталі під подальше витягування з потоншенням.

Розрахунки проводили у програмному середовищі DEFORM. Вихідна заготовка із сталі С60 мала розміри D_0 = 138 мм і H_0 = 320 мм. Швидкість деформування з коефіцієнтом тертя μ=0,3 складала V_0 =150 мм/сек. На рис. 2 зображені в розрізі розрахункові схеми. Розрахункова схема на початку видавлювання приведена на рис. 2а. Вихідна заготовка і розташована в матриці 2 на виштовхувачі 3. При одночасному опусканні пуансона 4 з матрицею 2 виконується формоутворення порожнистого напівфабрикату 5 (рис. 2б). На рис. 2 показні залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона та розподіли нормальних напружень σ_n на контактуючих поверхнях між заготовкою і деформуючим інструментом. Залежність зусилля видавлювання приведена на рис. 2а. Зусилля постійно зростає і досягає 4,6 МН в кінці видавлювання. Розподіли напружень σ_n на контактуючих поверхнях наведені на рис. 2. Тут і в подальшому зображена половина напівфабрикату і тонкими лініями наведений інструмент, а розміри по вісях показані в міліметрах. По величинах напружень σ_n можна оцінити питомі зусилля на деформуючому інструменті. Найбільші величини напружень у межах σ_n =484÷548 МПа виникають на торці пуансона. На торці виштовхувача отримано σ_n =198÷371 МПа. Максимальні напруження σ_n =436 МПа виникають на конусній поверхні матриці.



а б

Рис. 1. Розрахункові схеми: а – на початку видавлювання, б – в кінці видавлювання



а б

Рис. 2. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона та розподіл нормальних напружень σ_n на контактуючих поверхнях: а - залежність зусилля видавлювання, б - розподіли напружень σ_n

Розподіл температури у здеформованій заготовці в кінці процесу видавлювання показаний на рис. 3. Температура у більшій частині об'єму заготовки знаходиться у межах T=891÷982ºС. В шарах металу заготовки, які контактують з деформуючим інструментом має місце суттєве зниження температури.

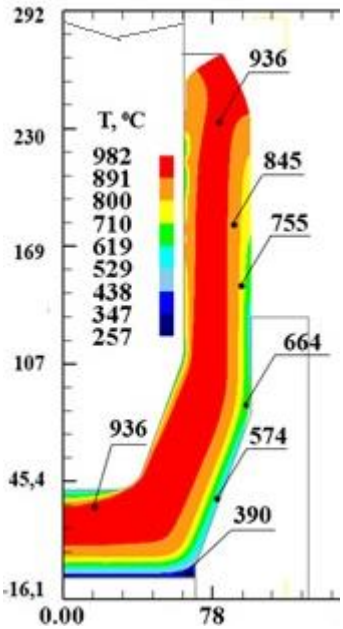
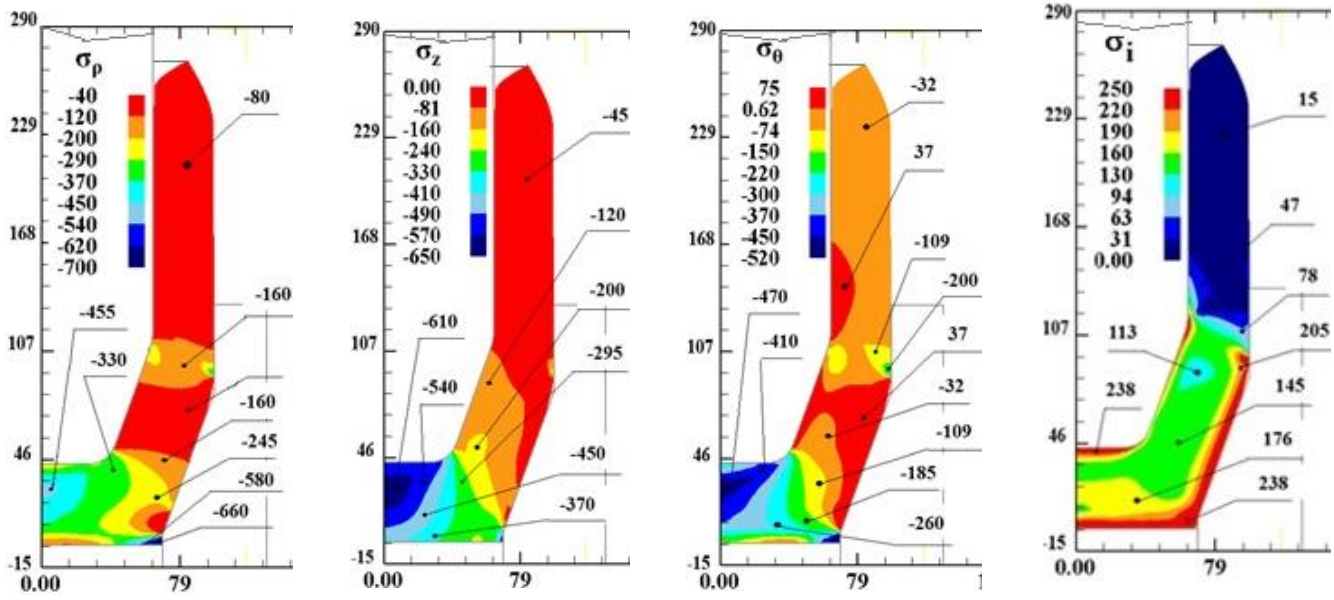


Рис. 3. Розподіл температури у здеформованій заготовці

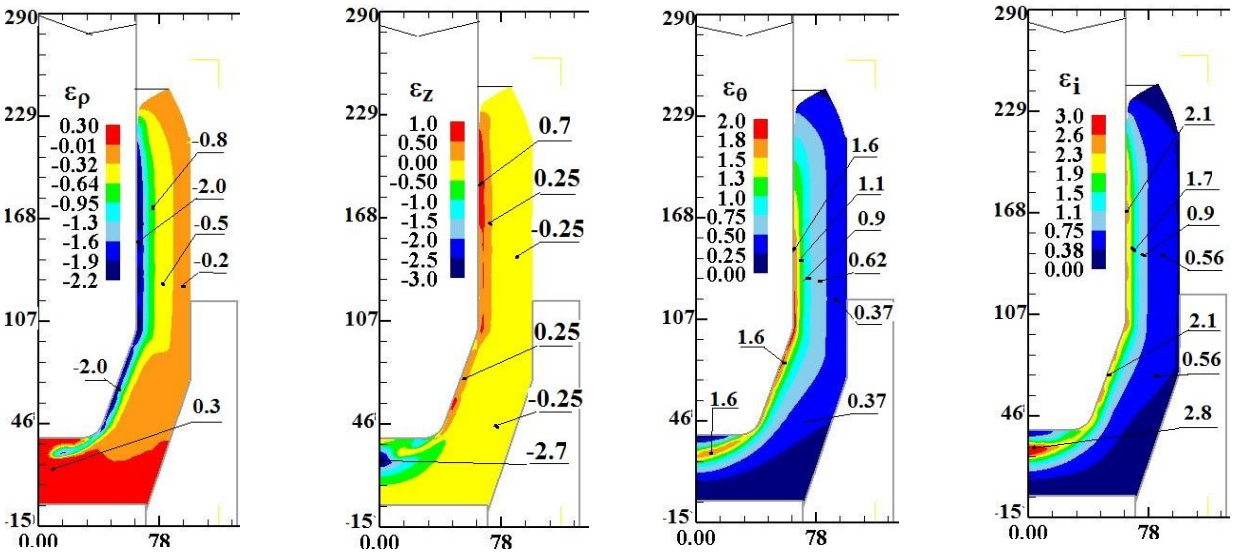
Розподіли компонент напружень у здеформованій заготовці при максимальному значенні зусилля видавлювання приведені на рис. 4. На рис. 4а наведений розподіл радіальних напружень σ_ρ. По всій заготовці спостерігаються стискаючі напруження σ_ρ. У донній частині заготовки вони приймають значення у межах σ_ρ=-245÷-455 МПа, в циліндричній частині стінки - σ_ρ=-40÷-120 МПа. Осьові напруження (рис. 4б) по об'єму донної частини стискаючі. В області під торцем пуансона отримано σ_z=-540÷-610 МПа, в конусній частині - σ_z =-120÷-200 МПа, а стінці ці напруження практично відсутні. Розподіл тангенціальних напружень σ_θ зображений на рис. 4в. Вигляд розподілу та значення напружень відповідають радіальним напруженням σ_θ. Напруження у донній частині становлять σ_θ=-32МПа, в низу стінки приймають значення σ_θ=37 МПа. При переході стінки в донну частину напруження становлять σ_θ=-185÷-470 МПа. В конусній частині вони приймають досягають значення σ_θ=-109 МПа. На рис. 4в наведений розподіл інтенсивності напружень σ_i. Найбільші величини напружень σ_i виникають в шарах металу під торцем пуансона, над торцем виштовхувача та біля конусної поверхні матриці з досягненням значення σ_i=238 МПа. У донній частині здеформованої заготовки отримано σ_i =145÷176 МПа. По об'єму конусної частини - σ_i =145 МПа.

Розподіли компонент деформацій по об'єму здеформованої заготовки приведені на рис. 5. На рис. 5а приведений розподіл радіальних деформацій ε_ρ. У конусній і циліндричній частинах ε_ρ стінки виникають стискаючі деформації ε_ρ. У донній частині заготовки ці деформації розтягувальні. Осьові деформації ε_z (рис. 5б) у донній частині стискаючі, а в стінці – розтягувальні. Розтягувальні тангенціальні деформації ε_θ виникають у всьому об'ємі заготовки.



а б в г

Рис. 4. Розподіли компонент напружень у здеформованій заготовці при максимальному зусиллі видавлювання: а – розподіл радіальних напружень σ_ρ, б – розподіл осьових напружень σ_z, в - розподіл тангенціальних напружень σ_θ , г - розподіл інтенсивності напружень σ_i



а) б) в) г)

Рис. 5. Розподіли радіальних ε_ρ, осьових ε_z, тангенціальних ε_θ і інтенсивності інтенсивності ε_i деформацій по об'єму здеформованої заготовки: а – розподіл ε_ρ, б - розподіл ε_θ, в - розподіл ε_z, г - розподіл ε_i .

Пропрацювання структури металу пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ε_i (рис. 5г). Найбільше пропрацювання отримують шари металу стінки із сторони порожнини.

Список використаних джерел

1. Калюжний В.Л. Аналіз схем холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів / В.Л. Калюжний, А.М. Потятиник // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк: НТУ, 2017. – № 59. – С. 137-143.
2. Калюжный В.Л. Горячая штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданной проработкой структуры металла пластической деформацией / В.Л. Калюжный, В.Н. Горностай, А.А. Гулюк // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017. -№ 1(44). – С. 137-143.

УДК 539.388.1

Т.Н. Можаровская, В.Н. Можаровский
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» имени Игоря Сикорского, г. Киев

ВЛИЯНИЕ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СТАЛИ 15Х2МФА (Т=550ºС) ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Повышение эффективности работы различных элементов конструкций и совершенствование методов расчета с точки зрения их прочности и долговечности является одной из актуальных проблем современного машиностроения.

Вследствие сложных механических и тепловых воздействий на реальные элементы конструкций возникает ряд факторов, которые существенно влияют на их несущую способность.

В подавляющем большинстве случаев такие конструктивные элементы работают длительное время в условиях высоких температур и сложного (плоского или объемного) напряженного состояния.

Поэтому практический интерес представляют вопросы исследования пластического деформирования конструкционных материалов в условиях ползучести и длительного статического и циклического нагружения.

В настоящем докладе будут рассмотрены закономерности пластического деформирования стали 15Х2МФА (Т=550ºС) в условиях ползучести при длительном статическом нагружении и сложного напряженного состояния, а также изучено влияние вида напряженого состояния на интенсивность деформаций ползучести ε_{ic}.

Известно, что соотношение между интенсивностью деформаций ползучести и интенсивностью напряжений можно принять в виде [1,2]:

$$\varepsilon_{ic} = \left[\frac{Lt}{\beta}\right]^{\beta} exp\left[\frac{\beta\sigma_i}{D}\right] , \qquad (1)$$

где L, β, D – постоянные материала при данной температуре исследований.

Из формулы (1) следует, что интенсивность деформаций ползучести является функцией только интенсивности напряжений и, как результат, кривая ползучести конструкционных материалов при σ_i = const и T = const должна быть инвариантной к виду напряженного состояния, а это будет справедливо лишь в том случае, если угол вида девиатора напряжений будет величиной постоянной.

Однако, как показали многие экспериментальные исследования различных конструкционных материалов [3, 4, 5, 6 и др.], кривые изотермичной ползучести при σ_i = const зависят от вида напряженного состояния.

В практике механических испытаний конструкционных материалов при плоском напряженном состоянии наиболее широко распространён метод испытаний тонкостенных трубчатых образцов, подверженных действию комбинированых нагрузок (осевой силе, крутящему моменту и внутреннему давлению). Это объясняется тем, что на трубчатых образцах обеспечивается широкий диапазон напряженных состояний и реализуются все возможные комбинации компонентов девиатора напряжений.

В связи с вышеизложенным, была разработана программа исследований стали 15Х2МФА (Т = 550°С) [7] в упруго-пластической области ($\sigma_i > \sigma_{iT}$) в координатах А.А Ильюшина [8] применительно к тонкостенным цилиндрическим образцам, которые подвергались одновременному нагружению растяжением и кручением.

При этом вид напряженного состояния характеризовался углом φ:

$$\varphi = arctg\frac{\sqrt{3}\tau_{z\theta}}{\sigma_{zz}} \qquad (2)$$

В таблице 1 представлены экспериментальные и расчетные значения ε_{ic} для исследуемой стали при некоторых значениях σ_i и φ.

Таблица 1

Экспериментальные и расчетные значения ε_{ic} для стали 15Х2МФА (Т=550°С) при некоторых значениях σ_i и φ

σ_i МПа	φ Рад	ε_{ic}	t,час							
			5	15	25	40	50	80	130	150
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
340	0	Эксп	0,27	0,58	0,75	0,80	0,87	1,08	1,26	1,39
		Расч	0,32	0,56	0,74	0,84	0,85	1,14	1,34	1,42
		±Δ,%	18,52	1,54	3,95	2,30	7,07	2,54	6,35	2,16
	$-\frac{\pi}{6}$	Эксп	0,29	0,64	0,82	1,05	1,15	1,35	1,58	1,64
		Расч	0,38	0,68	0,87	1,05	1,14	1,40	1,62	1,68
		±Δ,%	31,03	6,25	6,10	0	0,87	3,70	2,53	2,44
	$-\frac{\pi}{4}$	Эксп	0,38	0,69	0,89	1,18	1,25	1,47	1,55	-
		Расч	0,42	0,74	0,98	1,15	1,30	1,58	1,78	-
		±Δ,%	10,53	7,25	10,11	5,93	4,00	7,48	14,84	-
340	$+\frac{\pi}{3}$	Эксп	0,49	0,86	1,32	1,51	1,75	1,90	-	-
		Расч	0,59	0,98	1,49	1,74	1,89	2,27	-	-
		±Δ,%	20,41	13,95	12,88	15,2	8,00	19,5	-	-
	$-\frac{\pi}{2}$	Эксп	0,57	1,18	1,49	1,75	1,81	2,10	-	-
		Расч	0,78	1,23	1,52	1,87	2,01	2,31	-	-
		±Δ,%	36,80	4,24	2,01	2,86	11,1	10,00	-	-
360	0	Эксп	0,48	0,77	1,00	1,25	1,30	1,42	-	-
		Расч	0,50	0,82	1,04	1,30	1,35	1,53	-	-
		±Δ,%	4,17	6,49	4,00	4,00	3,85	7,75	-	-
	$+\frac{\pi}{6}$	Эксп	0,52	1,01	1,29	1,50	1,55	1,75	-	-
		Расч	0,61	0,98	1,31	1,50	1,60	1,84	-	-
		±Δ,%	17,24	2,97	1,55	0	3,23	5,14	-	-
	$-\frac{\pi}{4}$	Эксп	0,56	1,12	1,28	1,50	1,55	-	-	-
		Расч	0,73	1,21	1,41	1,69	1,75	-	-	-
		±Δ,%	30,36	8,04	10,16	12,7	12,9	-	-	-
	$+\frac{\pi}{3}$	Эксп	0,68	1,65	1,81	2,10	2,25	-	-	-
		Расч	0,89	1,59	1,93	2,25	2,65	-	-	-
		±Δ,%	30,88	3,64	6,63	7,14	13,3	-	-	-
	$-\frac{\pi}{2}$	Эксп	0,95	1,75	2,15	2,49	-	-	-	-
		Расч	1,04	1,81	2,30	2,70	-	-	-	-
		±Δ,%	9,47	5,23	6,98	8,43	-	-	-	-

Полученные кривые ползучести для стали 15Х2МФА (Т = 550°С) могут быть удовлетворительно описаны уравнением:

$$\varepsilon_{ic}(\sigma_i, \varphi, t,) = \left[\frac{L(\varphi)t}{\beta(\varphi)}\right]^{\beta(\varphi)} exp\left[\frac{\beta(\varphi)\sigma_i}{D(\varphi)}\right], \qquad (3)$$

где L(φ), β(φ), D(φ), - параметры, характеризующие способность материала к пластическому деформированию при ползучести в зависимости от вида напряженного состояния [2, 9], а β при всех значениях φ ($-\frac{\pi}{2} \le \varphi \le \frac{\pi}{2}$) для исследуемой стали 15Х2МФА (Т = 550°С) оказался величиной постоянной (β=0,43).

Значения этих параметров для некоторых значений φ приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения параметров L, β, D для некоторых значений φ

Материал, температура испытаний	Параметры	φ, рад						
		$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{4}$	0	$-\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{3}$	$-\frac{\pi}{2}$
15Х2МФА Т = 550°С	L(φ)×10^9, 1/час	0,986	2,230	3,313	4,466	3,291	2,140	0,974
	D(φ), МПа	14,752	19,171	21,047	23,518	20,919	18,912	14,952
	β(φ)	0,432	0,433	0,432	0,432	0,429	0,431	0,421

Уравнение состояния, описывающее ползучесть (3), можно представить в виде:

$$\varepsilon_{ic}(\sigma_i,\varphi,t)=\left[\frac{L(0)t}{\beta(0)}\right]^{\beta(0)} exp \left\{\frac{\beta(0)\sigma i}{D(0)}\left[\frac{1}{\frac{D(\pi/2)}{D(0)}+\left[1-\frac{D(\pi/2)}{D(0)}\right]Z^2(\varphi)}+\frac{D(0)}{\sigma_i}ln\left\{\frac{L(\pi/2)}{L(0)}+\left[1-\frac{L(\pi/2)}{L(0)}\right]z^2(\varphi)\right\}\right]\right\}, \quad (4)$$

где $L(0)$, $L(\pi/2)$, $D(0)$, $D(\pi/2)$, β(0) –постоянные материала, определяемые из двух базовых опытов – при растяжении (φ = 0) и при кручении ($\varphi = \frac{\pi}{2}$) , а z(φ)- универсальная функция, характеризующая вид напряженного состояния:

$$z(\varphi) = \frac{1+\frac{3}{2}tg^2\varphi}{\sqrt{(1+tg^2\varphi)^3}} \quad (5)$$

Таким образом, при расчетах конструкционных материалов, работающих в условиях ползучести при длительном статистическом нагружении и сложном напряженном состоянии, в качестве базовых экспериментов можно использовать данные, полученные при одноосном растяжении и кручении, что позволит сократить число экспериментов и усовершенствовать методы их расчета.

Список используемых источников

1. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М. : Машиностроение, 1975. – 387с.
2. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. –М. : Наука, 1966. -752с.
3. Горев Г. В., Рубанов В. В, Соснин О. В. О построении уравнений ползучести для материалов с различными свойствами на растяжении и сжатие.-Прикл. матем. и техн. физика.- 1979.-№4. – С. 121-128.
4. Ермаков В.П., Рабинович А. И. Ползучесть теплопрочного алюминиевого сплава при сложном напряженном состоянии.- Прикл. механика. и техн. физика.-1971. -№2. –С.83-86.
5. Можаровский Н. С., Антипов Е. А., Бобырь Н, И., Ползучесть и долговечность материалов при программном нагружении.- Киев: Изд-во Вища школа, 1982. - 130с.
6. Наместников В. С. О ползучести при сложном напряженном состоянии. – В кн: Ползучесть и длительная прочность. Новосибирск, изд-во СО АН СССР, 1963,- С. 100-109.
7. Можаровская Т. Н. Программа и методика иследования ползучести и длительной прочности материалов с учетом вида девиатора напряжений и истории нагружения. – Пробл.прочности. -1984. -№11.-С. 83-98.
8. Ильюшин А. А. Пластичность. –М.: Изд-во АН СССР, 1963.-272 с.
9. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики.-М.: Наука, 1972.-592с.

УДК 621.981.1

В.В. Кухар, М.М. Нагнібеда
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТА ПРУЖИЕНЕННЯ ПРИ БАГАТОПЕРЕХІДНОМУ ГНУТТІ ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ

Сталеві армуючі холодногнуті профілі є поширеною продукцією, що випускається підприємствами, які спеціалізуються на обробці металів тиском. Початковим матеріалом для згинання-прокатування є оцинкована холоднокатана сталь з товщиною смуги від 0,65 до 2,0 мм. Питаннями розробки сортаменту спеціальних гнутих профілів і освоєння виробництва постійно приділяється значна увага з причини ефективності їх застосування [1].

Гнутий профіль отримують при деформуванні заготовки у багатовалкових профілезгинальних станах. Проте, зігнуті деталі після зняття навантаження пружно розгинаються і міняють кут вигину, що характеризується ефектом пружинення [2, 3].

До теперішнього часу немає достовірних відомостей про різницю кута пружинення, який виникає при гнутті заготовок до певного кінцевого кута за один або декілька переходів. Неврахування пружинення приводить до невідповідності кінцевих розмірів профілів і дефектоутворенню у між валковому просторі профілезгинальних станів.

Тому тема роботи, що спрямована на забезпечення регламентованих геометричних характеристик холодногнутих профілів з урахуванням пружинення металу при багатоперехідному згинанні, є актуальною.

Метою роботи є експериментальне дослідження ефекту пружинення та залишкових деформацій у металопродукції в процесах багатоперехідного формування профілів на профілезгинальних станах.

Експериментальні дослідження пружинення при згинанні проводили на сталевих (Ст. 3) заготовках довжиною L = 60 мм; товщина листової заготовки – S = 1 мм, S = 1,5 мм, S = 2 мм, а також ширина полиці B = 20 мм, B = 40 мм, B = 60 мм. У якості деформуючого інструменту використовували згинальні штампи (рис.1). Схема деформування наведена на рис. 2.

Рис. 1. Згинальні штампи з кутом підгину заготовки на
α = 72°45’, α = 109°30’, α = 91°30’

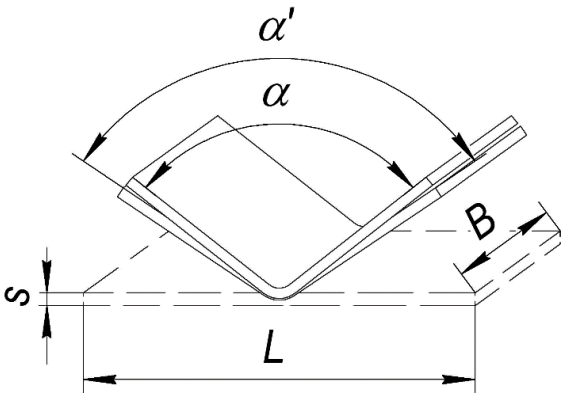
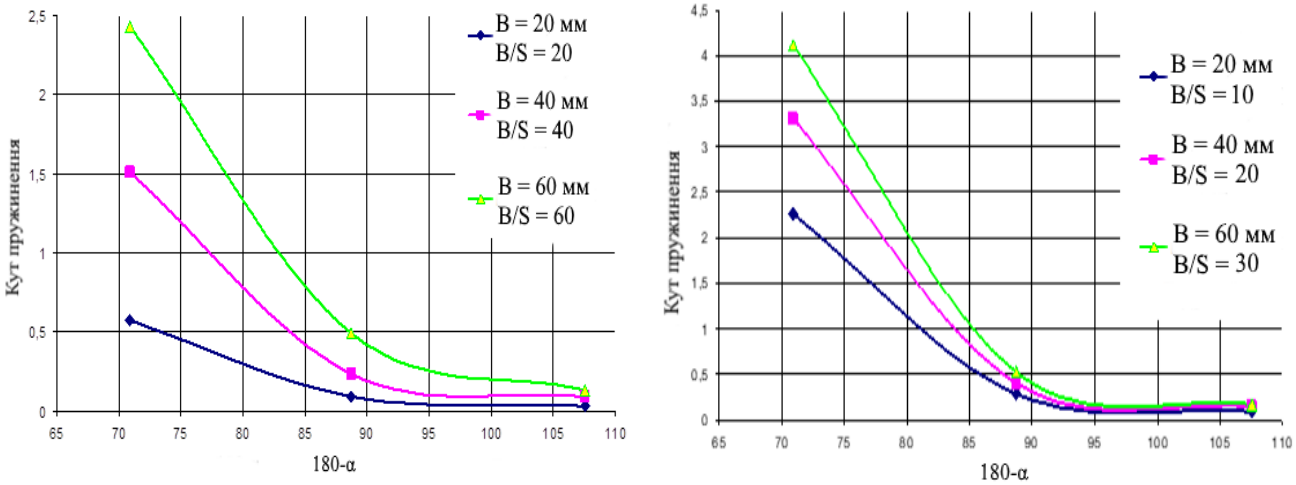


Рис. 2. Схема формування заготовок:
L – довжина заготовки, S – товщина заготовки, B – ширина полиці,
α – кут підгину штампа,
α’ – кут після зняття навантаження

Вимірювання виконували після кожної деформації, які проводили дробово, згідно з розробленою методикою. Кожен дослід включав не менше п'яти вимірів. Обробку результатів

цих дослідів проводили на основі загальноприйнятої методики дисперсійного аналізу факторного експерименту відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений» [4].

Після обробки експериментальної інформації були побудовані графічні залежності, що характеризують зміну кута пружинення дослідних зразків при гнутті. Приклад типового експериментального графіка наведений на рис. 3.



а б

Рис. 3. Залежність зміни кута пружинення від кута згинання при багатоперехідному гнутті:
а – результати для товщини заготовки S = 1 мм,
б – результати для товщини заготовки S = 2 мм

За результатами проведенної роботи можна зробити такі висновки:

1. У результаті виконаного аналізу досліджень на багато валкових станах встановлено, що приймально-здавальні характеристики гнутих профілів суттєво залежать від властивостей їх матеріалу, форми калібрів, при цьому розрахунку та прогнозуванні кінцевої форми гнутого профілю приділяється недостатньо уваги. Встановлено, що для отримання точного розрахунку калібрів необхідно враховувати пружинення на технологічних проходах.

2. Розроблено методику експериментальних досліджень для кута пруждинення при багатоперехідному гнутті. Показана доцільність використання методів прямих замірів геометричних розмірів заготовок після згинання на різні кути із врахуванням товщини та ширини заготовки.

3. Після експериментального дослідження та аналізу отриманих графіків можна зробити висновок, що кут пружинення істотно зменшується зі зростанням кількості підгинів, та суттєво залежить від товщини та ширини полиці, що піддається згинанню.

Список використаних джерел

1. Применение гнутых профилей проката: справочник / И. С. Тришевский, Г. В. Донец, М. Е. Докторов и др. – М.: Металлургия, 1975. – 421 с.
2. Banabic D. Sheet Metal Forming Processes, Constitutive Modeling and Numerical Simulation / D. Banabic. – Berlin: Springer-Verlag, 2010. – 318 p
3. Nandanwar P. S. Analysis of spring back defect in right angle bending process in sheet metal forming / P. S. Nandanwar, P.S. Bajaj, P.D. Patil // Pratibha: International Journal of Science, Spirituality, Business and Technology. – Vol. 3, No. 1. – 2014. – P. 18–22.
4. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ДСТУ ГОСТ 8.207:2008. – [Чинний від 2008- 10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 8 с. – (Державний стандарт України).

В.Ю. Клименко, В.Ф. Мозговой, К.Б. Балушок
ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ЛОПАТКАХ ГТД

В настоящее время электроэрозионная обработка (ЭЭО) с успехом используется для получения деталей сложной и точной формы, а иногда является единственным способом обработки детали из жаропрочных и труднообрабатываемых материалов. Примером таких деталей является лопатка газотурбинных двигателей (ГТД). В современных лопатках ГТД присутствует большое количество отверстий для охлаждения лопатки в процессе эксплуатации, диаметр которых может варьироваться от 0,1мм до 2мм с глубиной в 5 раз и более превышающих диаметр. Обработка таких элементов осложняется тем, что отверстие может состоять из двух частей цилиндрической и «заборной» части, которая может быть выполнена в виде конуса или других фигур, а также в одном ряду могут располагаться отверстия с разным направлением осей.

Основными критериями, определяющими выбор режимов для ЭЭО являются производительность процесса и обеспечение заданной точности и шероховатости. Производительность ЭЭО зависит от энергии единичного импульса, с увеличением энергии импульса производительность возрастает, но при этом снижается точность обработки и возрастает износ инструмента-электрода и наоборот, с уменьшением энергии импульса производительность падает, но улучшается точность обработки [1]. На данный момент не существует точных рекомендаций по режимам и параметрам обработки для обеспечения заданной геометрической точности и шероховатости, поэтому их приходится подбирать экспериментальным путем для каждого конкретного случая.

Для разработки технологии обработки перфорационных отверстий и получения оптимальных режимов обработки необходимо провести цикл практических экспериментов, целью которых является получение максимальной производительности и обеспечения заданных параметров шероховатости и точности, с учетом имеющегося на предприятии оборудования и специфики производства.

В качестве исходных данных служит математическая модель лопатки ГТД созданная в системе NX. Материал обрабатываемой детали сплав ЖСУ6У. В результате анализа исходной информации обрабатываемые отверстия можно условно разделить на три группы:

- цилиндрические отверстия;
- конические отверстия с полным конусом,
- конические отверстия с частичным конусом.

Деталь обрабатывается на оборудовании SX-200-HPM швейцарской фирмы SARIX SA, которая специализируется на производстве электроэрозионных станков для трехмерной микрообработки. Станок позволяет проводить объемную многоосевую прецизионную обработку всей заготовки благодаря установке, которая оснащена ротационным шпинделем с индексированной осью W(Z) и осями A и B с индексированным позиционированием [1].

Для упрощения процесса отработки технологии и экономии времени эксперименты проводятся на пластине размером 60x15x3 (ДхШхВ) из того же сплава.

В общем виде последовательность получения отверстий выглядит следующим образом:

- установка опытного образца в приспособление на станке и выполнение обмеров его положения относительно сферы приспособления;
- размещение пластины в математической модели приспособления в системе NX, получение координат сферы приспособления относительно нулевой точки поворотного стола;
- импорт геометрии в модуль SARIX Aero на базе системы Esprit;

- разработка последовательности обработки отверстий в модуле SARIX Aero с генерацией УП;
- обработка пластины на станке;
- порезка пластины и заполнение протокола измерений;
- анализ результатов измерений и получение зависимостей между исследуемой геометрией и параметрами обработки;

В результате работы получены следующие результаты:

- разработана общая последовательность технологии получения перфорационных отверстий сложной формы в лопатках ГТД;
- получены зависимости между величиной «Adjusment Factor» (V800) и величинами угла и глубины конуса;
- для получения стабильных результатов по геометрическим параметрам заданных элементов необходимо провести дополнительные эксперименты для уточнения параметра V800.

Список использованных источников

Серебреницкий П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 352 с.:ил.- (Учебники для вузов. Специальная литература).

УДК 621.438.002.2

В.А. Тітов[1], А.М. Бень[2]
1 - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: vat.kpi@gmail.com
2 – Національний університет «Запорізька політехніка», e-mail: benanna@zntu.edu.ua

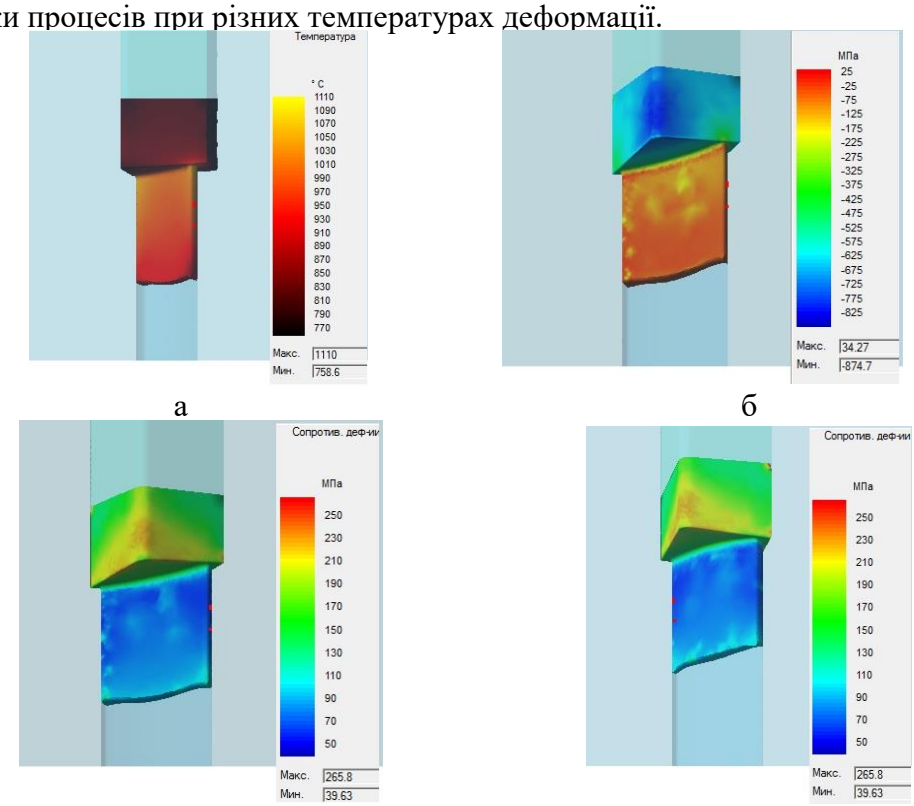
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЯКІСТЬ ТИТАНОВИХ РОБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА, ОТРИМАНИХ ВИДАВЛЮВАННЯМ

Робочі лопатки компресора є одними із відповідальних деталей, що визначають якість та довговічність роботи авіаційного двигуна. Тому пресування якісних заготовок лопаток із титану та його сплавів вимагає вірного призначення режиму термомеханічної обробки, під яким розуміють поєднання температури, швидкості деформації та витягування, при задовільній стійкості інструменту. В кожному випадку індивідуально призначається раціональний температурний режим із врахуванням вимог до структури, точності, чистоти поверхні виробу, наявного обладнання і т.д.

Титанові сплави мають достатньо широкий температурний інтервал кування – 700…1100°С. Але варто враховувати, що крупнокристалічна структура, так само, як і структурна неоднорідність в титанових сплавах, не виправляється термічною обробкою, як у сплавів на основі заліза. Тому режим обробки тиском саме на пресі набуває для титанових сплавів вирішального значення.

Проведено порівняльний аналіз процесу видавлювання заготовок робочих лопаток компресора із титанового сплаву при різних температурах за допомогою програми QForm. Моделювання виконується за фактичними розмірами лопатки та штампового оснащення.

В результаті розрахунків отримано дані щодо характеру розподілу температурного поля, середніх напружень, опору деформації та зусилля деформації (рис. 1). В табл. 1 наведено характеристики процесів при різних температурах деформації.



а - температурне поле; *б* - середнє напруження; *в* - опір деформуванню зі сторони корита; *г* - опір деформуванню зі сторони спинки

Рис. 1. Характер деформування заготовки робочої лопатки компресора після її видавлювання за температури 850°*C*

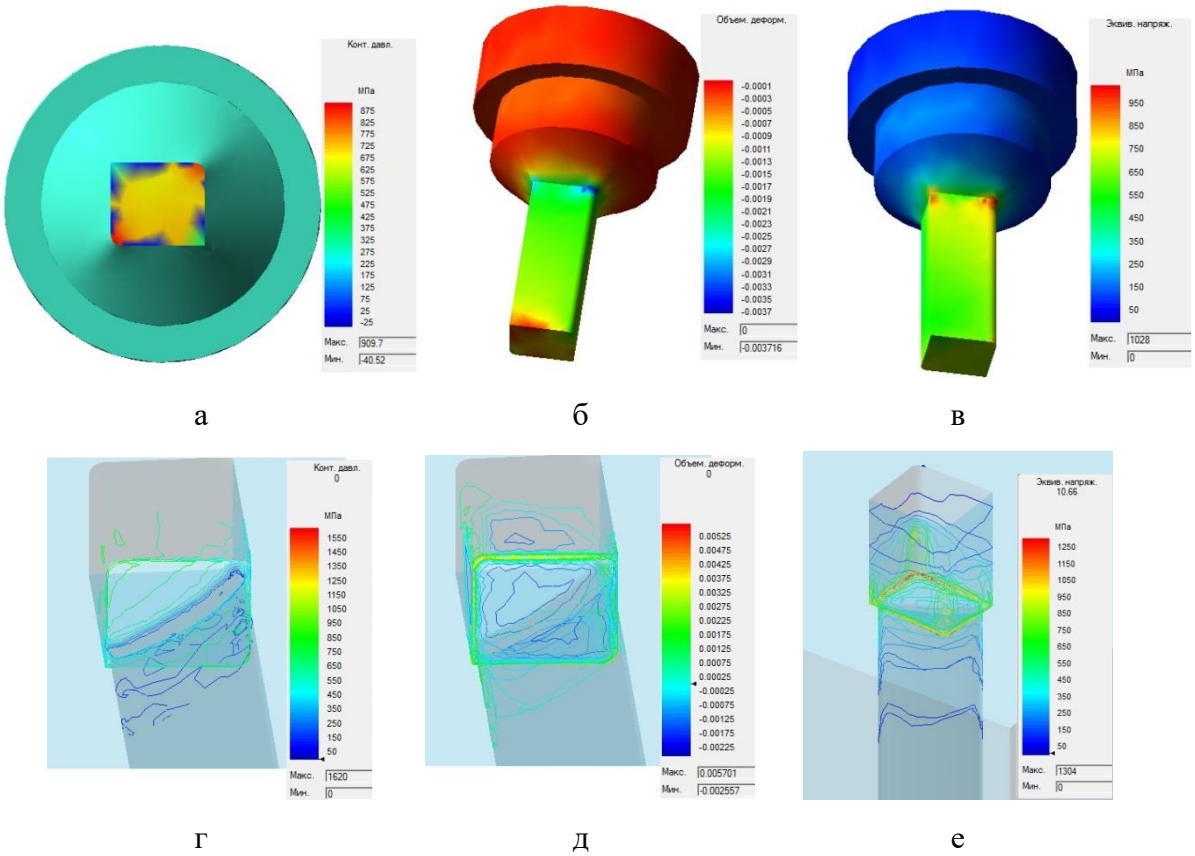
Таблиця 1

Зведені характеристики процесу видавлювання заготовки робочої лопатки компресора при різних температурах початку деформації

Температура нагрівання вихідної заготовки, °C	Розподіл середніх напружень, МПа	Розподіл поля температур, °C	Опір деформуванню, МПа	Максимальне зусилля деформації, МН
800	-965,1…24,84	722…1108	39,85…282,7	0,34
850	-874,7…34,27	758,6…1110	39,63…265,8	0,29
900	-848,3…42,24	799,3…1115	37,66…247,5	0,26
1000	-749,9…30,13	774,7…1080	44,09…234,7	0,18

Аналіз отриманих даних показує, що при підвищенні температури початку деформації зменшуються середні напруження, опір деформуванню, знижується зусилля деформації внаслідок підвищення показників пластичності.

Окрім моделювання процесу деформування, було проведено моделювання деформуючого інструменту. В якості матеріалу штампа було обрано штампову сталь 5ХНМ. В результаті розрахунків отримано дані щодо характеру розподілу напружень на пуансоні та в матриці (рис. 2). В табл. 2 наведено характеристики напружень при різних температурах деформації.



а, г – контактний тиск; б, д – об’ємна деформація; в, е - еквівалентні напруження

Рис. 2. Розрахунок напружень на пуансоні та в матриці при видавлюванні заготовки на механічному пресі при температурі нагрівання *t* 1000°*C*

Таблиця 2

Зведені характеристики напружень на інструменті при різних температурах початку деформації

Температура нагрівання вихідної заготовки, °С	Контактний тиск, МПа		Об'ємна деформація		Еквівалентні напруження, МПа	
	на пуансоні	в матриці	на пуансоні	в матриці	на пуансоні	в матриці
800	-41,16…1096	0…1191	-0,0038…0,0001	-0,0032…0,0064	-	-
850	-42,69…1000	0…1076	-0,0039…0	-0,0029…0,0058	0…1189	0…1366
900	-43,97…988,1	0…1000	-0,0039…0	-0,0029…0,0062	0…1098	0…1330
1000	-40,52…909,7	0…1620	-0,0037…0	-0,0026…0,0057	0…1028	0…1304

Із аналізу отриманих даних видно, що напруження плавно знижуються із ростом температури початку деформації. На пуансоні максимальні значення контактного тиску спостерігаються в радіусах закруглень бічних ребер, а максимальна об'ємна деформація – у кутах бічних ребер на контактній поверхні із заготовкою. Еквівалентне напруження концентрується у критичній точці з'єднання консольної частини із основою. В порожнині матриці максимальні контактні напруження спостерігаються в характерних площинах так само, як і в пуансоні.

Порівнюючи характер напружень на інструменті із ростом температури можна відзначити, що при температурі 1000°С контактний тиск в матриці має значно більші значення, внаслідок чого можуть з'являтися руйнування інструменту у критичних перерізах. Окрім цього, з'являються критичні значення напружень на бічних гранях із радіусом в контейнері матриці. Отже, деформація за даної температури є недоцільною.

Висновки. Проведені дослідження вказують, що підвищення температури нагрівання вихідних заготовок перед видавлюванням погіршує умови роботи деформуючого інструменту, значно знижуючи його стійкість. Рекомендовано зниження температури видавлювання заготовок робочих лопаток компресора із титанових сплавів до 900°С, що покращує структуру та властивості виробу, а також забезпечує більш однорідний плин металу. При цьому підвищується стійкість інструменту та якість поверхні, але збільшується питоме зусилля пресування.

Список використаних джерел

1. Никольский, Л.А. Горячая штамповка и прессование титановых сплавов [Текст] / Л.А. Никольский, С.З. Фиглин, В.В. Бойцов и др. – М.: Машиностроение. – 1975. – 285 с.
2. Кресанов Ю.С. Влияние параметров горячего выдавливания заготовок рабочих лопаток компрессора на качество их изготовления / Ю.С Кресанов, А.Я. Качан, В.В. Чигиринский, А.Н. Бень // Вестник двигателестроения – 2009. - №2. - С.108-115.
3. Тітов В.А. Комп'ютерне моделювання технологічного процесу видавлювання заготовок компресорних лопаток з використанням програмного пакету QForm 2D/3D / В.А. Тітов, А.М. Бень.// "Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти". Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції (28 травня – 01 червня 2018 р.) – Київ – Херсон. – С. 111-114.

УДК 621.7

М.В. Орлюк, А.Д. Лавріненков, А.А. Шупіченко
НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВФАБРИКАТУ ГІЛЬЗИ ГРАНАТОМЕТУ ІЗ СПЛАВУ Д16Т

При виготовленні гільз стрілкових і артилерійських боєприпасів окрім геометричних розмірів необхідно забезпечити певні фізико-механічні властивості стінки і дна виробу. Традиційно задача вирішується поєднанням методів холодного об'ємного штампування та відповідною термічною обробкою. Формоутворення нетехнологічних для штампування конструктивних елементів виконуються методами обробки різання [1]. При використанні матеріалу Д16Т необхідні фізико-механічні властивості можна отримати лише за рахунок термообробки, а геометрію - обробкою різанням. Проте обробку різанням бажано використовувати в експериментальному та дрібносерійному виробництві, в умовах масового виробництва вона є недоцільною, оскільки характеризується низьким коефіцієнтом використання матеріалу 20-30%. Використання методів пластичного деформування металу (холодне і гаряче об'ємне штампування) сприяє пропрацюванню структури металу та збільшенню коефіцієнта використання матеріалу до 60-70 %.

Тому в роботі проведені дослідження з метою оцінки можливості отримання напівфабрикату (рис. 1) методами холодного і гарячого зворотного видавлювання. За прийнятої геометрії напівфабрикату коефіцієнт використання матеріалу складе 61,2% при ступені деформації , що не перевищує допустиму при холодному зворотному видавлюванні [1].

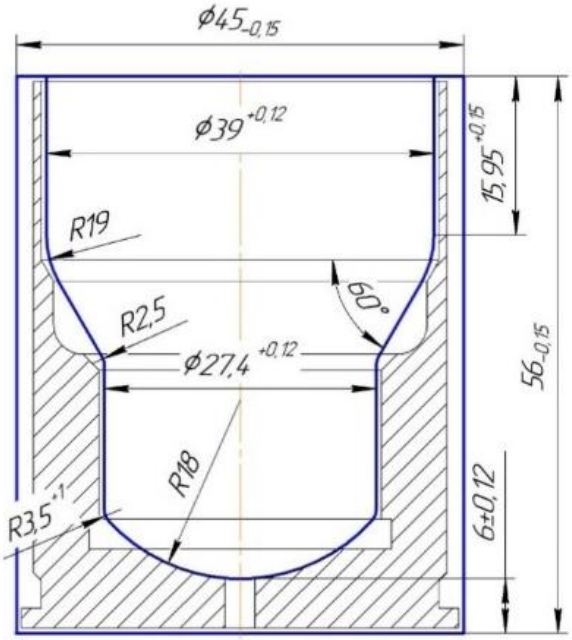


Рис.1. Ескіз відштампованого напівфабрикату

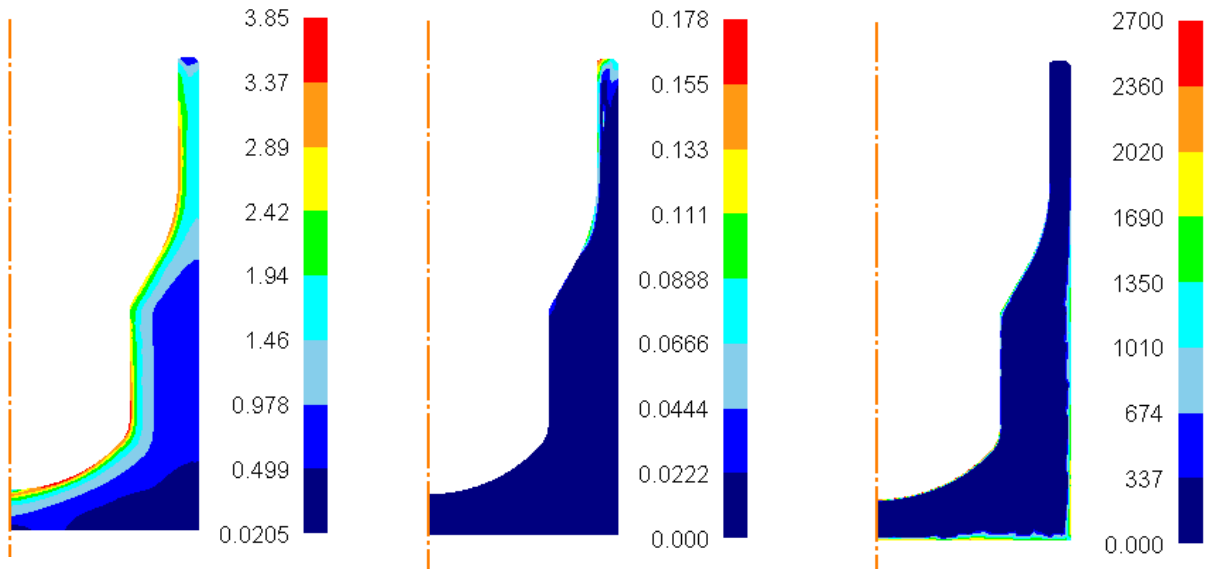
Перевірка можливості отримання штампованого напівфабрикату зворотним видавлюванням в холодному і гарячому стані проводилась в програмному комплексі DEFORM [2]. Параметри розрахунків наведені в таблиці 1. Метал заготовок вважався пластичним, деформуючий інструмент – абсолютно жорстким.

Таблиця 1

Параметри розрахунків чисельного експерименту

Параметр чисельного розрахунку	Значення параметра	
	Холодне зворотне видавлювання	Гаряче зворотне видавлювання
Матеріал заготовки	AL-2024COLD	ALUMINUM-2024[550-950F(300-500C)]
Коефіцієнт тертя за Зібелем	0,12	0,3
Температура заготовки, °С	20	420 (початкова)
Швидкість деформування, мм/с	1	13
Температура інструменту, °С	20	200
Критерій руйнування	Normalized Cockroft and Latham	

Результати моделювання холодного видавлювання наведені на рис.2.



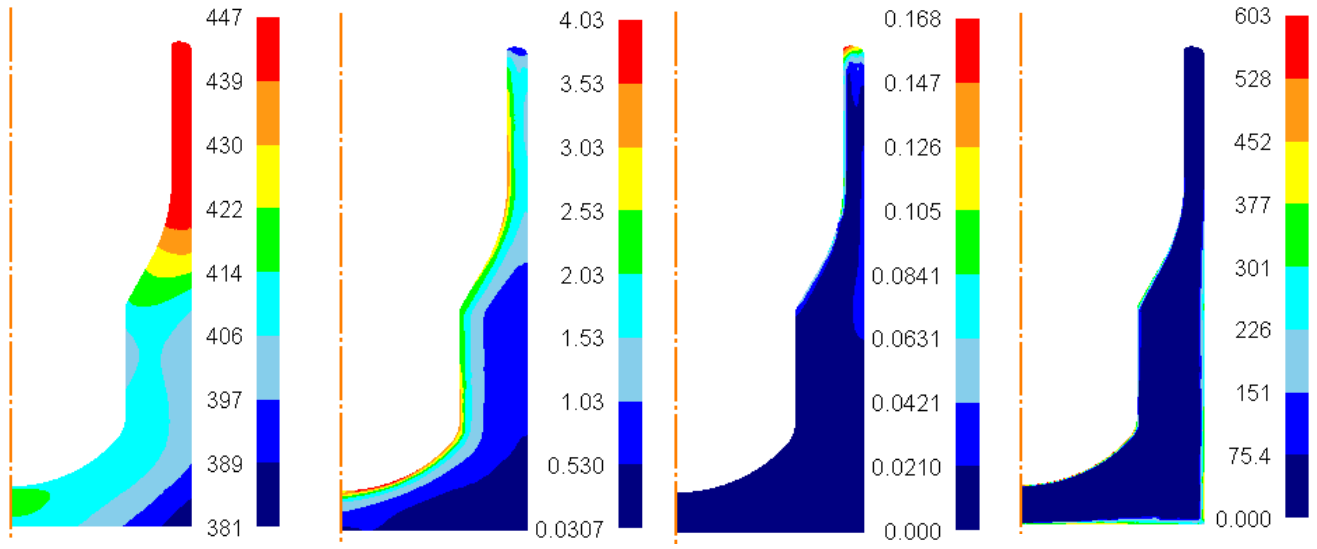
а) б) в)

Рис.2. Розподіл параметрів НДС при холодному зворотному видавлюванні:
а – інтенсивність деформації; б – значення критерію руйнування;
в – нормальний тиск на поверхні інструменту

Максимальне значення інтенсивності деформації знаходиться в межах 2,5-2,85. При цьому максимальне значення критерію руйнування досягає 0,178, що не перевищує граничне значення для даного матеріалу за обраної схеми деформування [3]. Максимальні значення нормального тиску виникають на сферичній деформуючій частині пуансона та на матриці навпроти осередку деформації та досягають 2700МПа. Такі значення є критичними для більшості штампових сталей [4] і можуть призвести до суттєвого зниження стійкості пуансонів і матриць або до їх руйнування, що в умовах масового виробництва є неприпустимим. Максимальне зусилля холодного зворотного видавлювання склало 1343кН.

За рахунок потовщення стінки до 4 мм та спрощення геометрії донної частини напівфабрикату можна зменшити питомі зусилля на інструменті до 2400МПа, але це призведе до зменшення коефіцієнта використання матеріалу до 57,7%.

На рис.3 представлені результати моделювання гарячого видавлювання гільзи.



а) б) в) г)

Рис.3. Розподіл параметрів НДС при гарячому зворотному видавлюванні:
а – температура; б – інтенсивність деформації;
в – значення критерію руйнування; г – нормальний тиск

Кування і штампування сплавів типу дуралюміна проводиться у температурному інтервалі 350-480°С. Щоб зерна структури були максимально близькими за розмірами, не можна допускати зниження температури в процесі деформування нижче заданого інтервалу [5]. Тому за результатами моделювання була підібрана необхідна температура нагрівання і швидкість деформуючого інструменту. При температурі нагрівання сплаву до 420°С та швидкості деформування 13 мм/с в процесі штампування напівфабрикат охолоджується у кутах до температури 381°С, що не виходить за межі температурного інтервалу штампування для сплаву Д16Т.

Максимальне значення інтенсивності деформації за результатами моделювання знаходиться в межах 3,5-4, при цьому максимальне значення критерію руйнування сягає 0,168, що не перевищує граничне значення. Розподіл нормального тиску носить такий самий характер, як для холодного видавлювання, але максимальне значення складає 603 МПа, що забезпечить підвищену стійкість деформуючого інструменту. Технологічне зусилля досягає значення 541 кН.

За результатами досліджень необхідний напівфабрикат можна отримати як холодним, так і гарячим зворотнім видавлюванням. І хоча при гарячому штампуванні необхідно підігрівати інструмент і заготовку, але воно дозволяє досягнути коефіцієнта використання матеріалу 61,2% та зменшення технологічного зусилля в 2,5 рази (в порівнянні з холодним видавлюванням), що забезпечить підвищену стійкість штампового оснащення

Список використаних джерел:

1. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т.1 / Под ред. Н.П. Агеева; Балт. гос. техн. ун-т. − СПб., 2011. − 643 с.
2. Паршин В.С., Карамышев А.П. и др. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D. - Учебное пособие. — Екатеринбург: УрФУ, 2010. — 266 с.
3. М.А. Матвеев. Оценка вероятности разрушения металла при горячей пластической деформации с помощью критерия Кокрофта— Латама // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. № 23. С. 109–126.
4. Околович Г. А.. Штамповые стали для холодного деформирования металлов: Монография / Г. А. Околович; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Изд. 2-е, переработанное, дополненное. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010, 202 с
5. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mash-xxl.info/page/190119172102189079151084067045189205209144124234

УДК 621.77.043

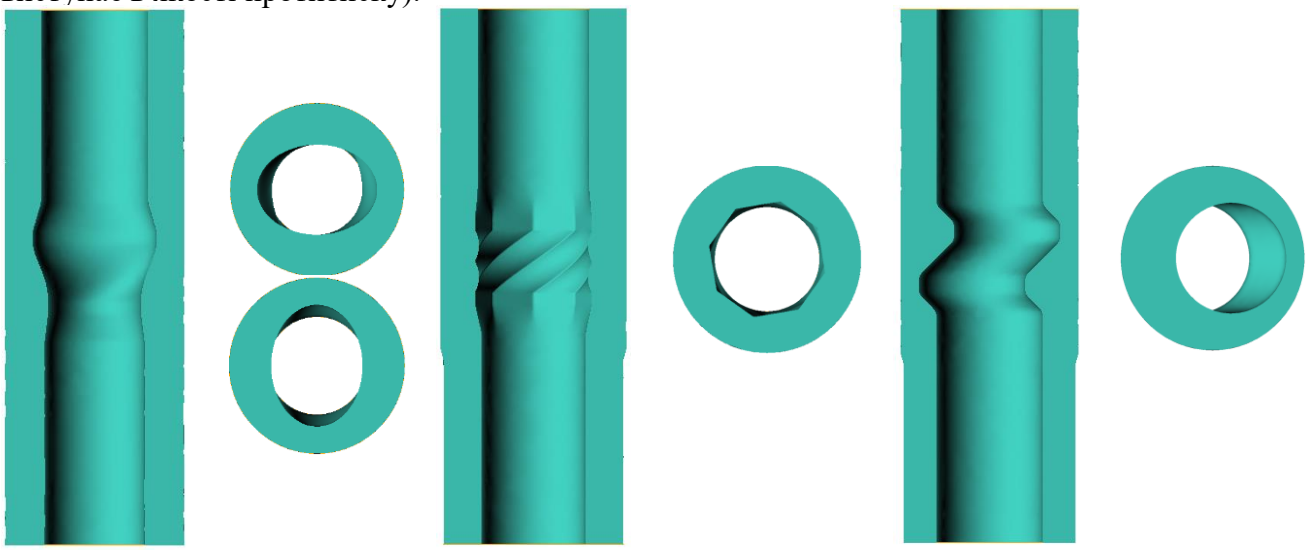
Н.К. Злочевська[1], М.В. Биба[2], А.Д. Лавріненков[1], С.В. Ситник[1], Т.Г. Машталір [1]
1 - КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна
2 - MICAS Simulation LTD, Оксфорд, Великобритания

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СХЕМ ДЕФОРМУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОЇ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ

Використання матеріалів з дрібнозернистою структурою в сучасному машино, авіабудуванні являється перспективним завдяки підвищення механічних властивостей після обробки. На даний час в усьому світі відомі методи інтенсивної пластичної деформації (ІПД) до них відносяться рівноканальне кутове пресування [1], кручення під тиском [2], гвинтова екструзія [3], гвинтове уширяюче пресування [4] та ін.

В залежності від схеми пресування величина пластичної деформації матеріалу буде різна. Відповідно і пророблення структури матеріалу заготовки буде різною, що у реальному процесі буде впливати на мікроструктуру заготовки.

Для моделювання були вибрані наступні схеми пресування: гвинтового уширяючого пресування (ГУП), полігональне пресування (ПП) та багатокутове пресування (БП) (рис. 1). На рис. 1 зображені поперечні перерізи ділянок матрицю де відбуваються інтенсивні пластичні деформації. Моделювання проводилось методом скінчених елементів (МКЕ) в програмі QForm. Параметри процесу моделювання: тип операції - деформування із урахуванням теплових процесів; матеріал заготовки - ВТ-22; температура заготовки - 920°С; обладнання - гвинтовий прес-молот зусиллям 250 т; кількість заготовок (окрім кутового пресування) - дві (друга виступає в якості протитиску).

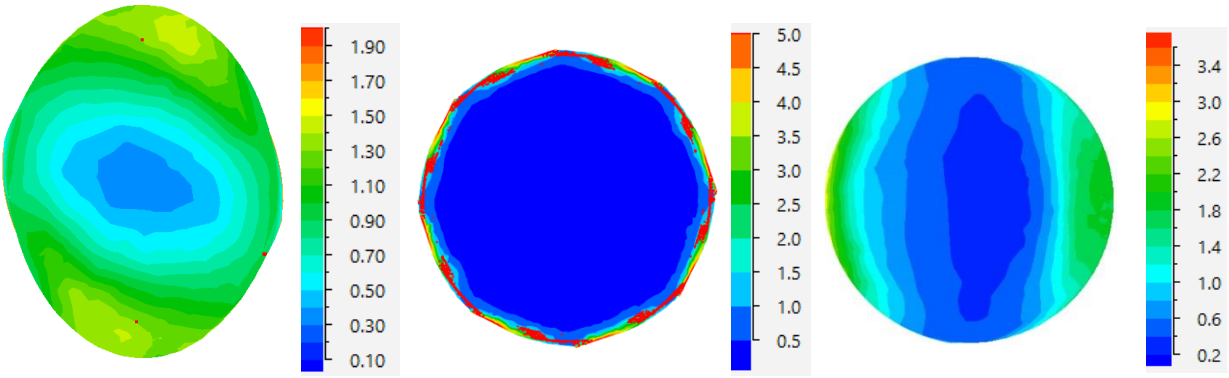


а) б) в)

Рис. 1. Схеми пресування
а) – ГУП; б) – ПП; в) – БП

Задачею моделювання було встановлення ступеня заповнення каналу матриці. Для кращого заповнення каналу матриці пресування заготовок відбувається безперервно (попередня заготовка виконує роль протитиска). Найбільш повне заповнення відбувається при схемі ГУП. Процент заповнення складає 90-95%. При схемі ПП заповнення каналу матриці склало 50-60%. При схемі БП реалізувати схему безперервного пресування не вдалось. Пластичне деформування відбувається на першому кутовому переході. Для заповнення другого кутового переходу потрібно прикладати протитиск гідроциліндром, так як попередня заготовка не створює необхідне зусилля. З огляду на це найбільш ефективною схемою пресування є саме ГУП.

По результатам моделювання (рис. 2) можна говорити, що схема пресування при якій відбувається пластична деформація максимального об’єму метала відповідає схемі ГУП.



а) б) в)

Рис. 2. Розподіл ефективної пластичної деформації e^{p}_{ef} в осередку деформування: а – УГП; б – ПП; в - БП

Встановлено, що при схемі ПП ефективна пластична деформація матеріалу відбувається біля поверхня заготовки. Глибина розповсюдження деформації складає 1,5-2,5 мм. При схемі ГУП можна говорити про пластичну деформацію матеріалу заготовки по всьому поперечному перерізу заготовки. Найменша пластична деформація відповідає середині заготовки. Глибина розповсюдження пластичної деформації 6-9 мм. Але із-за особливостей каналу матриці, інтенсивна пластична деформація при схемі ГУП (зміна поперечного перерізу матриці коло-еліпс-еліпс(поворот 90^0С)-коло) пропрацювання матеріалу відбуваються з двох сторін заготовки, і під кутом, що відповідає куту зміни поперечного перерізу матриці (рис. 3). Для максимального пропрацювання матеріалу заготовки з метою отримання подрібненої мікроструктури, пресування потрібно роботи за два проходи. Також для того, щоб не відбулося повторного деформування тих самих ділянок заготовки, на вході в матрицю заготовку потрібно повертати на 90^0 по відношенню до першого проходу заготовки. При дотриманні цієї умови пропрацювання матеріалу заготовки при пресуванні за схемою ГУП буде максимальне. Цієї ж умови потрібно дотримуватись і при пресуванні за схемою БП (рис. 1, в). По схемі ГУП глибина пластичної деформації складає 3-6 мм. Але якщо реалізувати повне заповнення матеріалом двох кутових переходів матриці, то і глибина пластичної деформації матеріалу і величина будуть збільшено. Якщо порівнювати схеми пресування по величині пластичної деформації то найбільш ефективною є схема багатокутового пресування, потім гвинтового уширяючого пресування. Найменш ефективною схемою пресування є схема полігонального пресування.

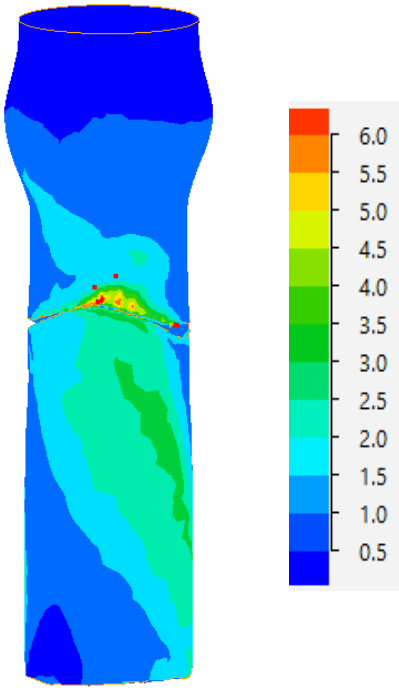


Рис. 3. Пластична деформація заготовки по схемі ГУП

Список використаних джерел

1. The effect of grain refinement by warm equal-channel-angular extrusion on room temperature in magnesium alloy ZK60 / R. Lapavok, P.F. Thomson, B. Cottam // Jour. of Mat. Sc. – 2005. = V. 40.– P. 1699-1708.
2. High pressure effects in severe plastic deformation / V.N. Varykhin, Y. Beygelzimer, V.M. Efros at al.// Физика и техника высоких давлений.- 2004.- том 14, №4, С. 9 - 18.
3. Бейгельзимер Я.Е. Полунепрерывная винтовая экструзия / Я.Е. Бейгельзимер, Д.В. Приленко, С.Г. Сынков // Физика и техника высоких давлений.-2007.- том №17, №2, с. 100-104.
4. Пат. 64346 України, МПК B21C25/00 Матриця для зміцнення матеріалу при багаторазовому пресуванні /В.А. Тітов, М.С. Тривайло, Н.К. Злочевська, Е.В. Кондратюк, Г.І. Пейчев. - № u201102822; заявл. 10.03.2011; опубл 10.11.2011, Бюл.21

УДК 532.501.32: 532.526

Л.В. Шмельова, А.Д. Супрун, С.М. Єжов
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ НАНОСТРУКТУР, УТВОРЕНИХ ФЕМТОСЕКУНДНИМИ ЛАЗЕРНИМИ ІМПУЛЬСАМИ

Фемтосекундна лазерна техніка є не тільки важливим інструментом фундаментальних досліджень нерівноважних процесів у конденсованих середовищах, а й активно використовується в сучасних лазерних технологіях при високоточній обробці матеріалів, а також для створення нових функціональних наноматеріалів. На відміну від процесу випаровування, характерного для впливу на метали і напівпровідники лазерних імпульсів мікросекундної і наносекундної тривалості, в разі фемтосекундних імпульсів основним механізмом є термомеханічна абляція, яка веде до видалення поверхневого наношару в результаті виникнення в речовині потужних напружень розтягування [1]. Для лазерних імпульсів, тривалість яких менша часу релаксації термопружних навантажень або швидкості звуку в речовині що нагрівається, а щільність енергії вище порогу абляції, концентрація напружень може призводити до появи тиску вище гігапаскального рівня [2]. В результаті такої потужної дії на поверхні опромінюваної речовини утворюються пошкодження у вигляді мікрократерів, які продемонстровано на рисунку 1.

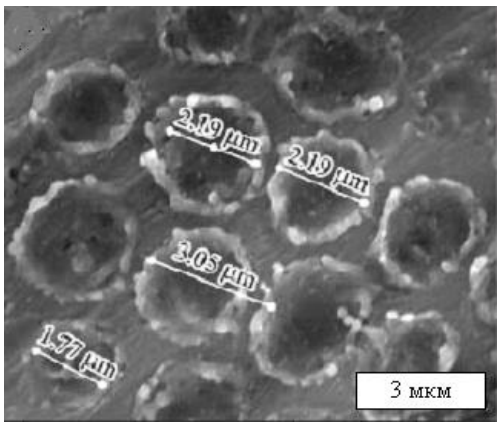


Рис. 1. Мікрократери, отримані при опроміненні фемтосекундним лазерним випромінюванням: на титані [3]

Згідно з експериментальними оцінками характерний рівень енергії, з якого починається активне руйнування поверхні практично без утворення рідкої фази, перевищує $10^7 \div 10^8$ Вт/см^2 залежно від матеріалу. Якщо потік суттєво вище цього значення, то значна частина енергії лазерного випромінювання витрачається на прямий фазовий перехід тверде тіло – газ. Рідка фаза в зоні обробки при цьому практично відсутня. В роботі було отримано критерій для реалізації такого переходу.

$$q \geq \frac{R_g T_c \rho}{\mu} \frac{1}{1-R^2}, \tag{1}$$

де q – потужність електромагнітної хвилі, R_g – універсальна газова стала, T_c – критична температура, якої досягає поверхнева область під опроміненням при зміні фазового стану , μ – молекулярна маса, а ρ – густина, R – коефіцієнт відбиття світла.

За цією формулою були проведені оцінки для деяких конкретних матеріалів. Наприклад, вони показують, що для алюмінію значення потоку, який може привести до структурних поверхневих змін без оплавлення поверхні має задовольняти умову $q \geq \frac{6 \cdot 10^{18}}{1-R^2}$ Вт/см^2, для міді

та хрому $q \geq \frac{9 \cdot 10^{13}}{1-R^2}$ Вт/см^2, для вольфраму $q \geq \frac{1{,}5 \cdot 10^{14}}{1-R^2}$ Вт/см^2, для титану $q \geq \frac{7{,}6 \cdot 10^{13}}{1-R^2}$ Вт/см^2, для калію $q \geq \frac{4 \cdot 10^{12}}{1-R^2}$ Вт/см^2. Отже, інтенсивними тут ми будемо називати потоки, що задовольняють умову (1).

Аналітично-чисельне моделювання руйнування поверхні фемтосекундним лазерним імпульсом базується на розв'язанні неоднорідної системи рівнянь механіки суцільного середовища.

Граничні умови визначаються на межі поділу між двома фазами (конденсованим середовищем і газовою фазою) за допомогою проектування об'ємних рівнянь на цю межу [4]. Такий спосіб визначення всіх граничних умов приводить до того, що вони виявляються сформульованими у локальній системі відліку. Її початок розташований в деякій точці поверхні на межі поділу конденсованого середовища і газової фази в області дії імпульсу. Коли руйнування твердої поверхні не відбувається, то система відліку буде залишатися нерухомою відносно спостерігача. Але коли руйнування відбувається, то локальна система є жорстко пов'язаною з поверхнею твердого середовища. Такі системи описують події безпосередньо в кожній окремій точці поверхні. Це ускладнює теоретичне обґрунтування експериментальних досліджень, які, як правило, виконуються у лабораторній системі відліку.

Щоб отримати можливість прораховувати розвиток кратерів на тверді поверхні знайдені перетворення для переходу від локальної, рухомої системи координат, до лабораторної, нерухомої. Схема, за допомогою якої було отримано зв'язок між двома системами відліку приведена на рис. 2. На рисунку, поверхня кратера, що утворюється під впливом потоку, позначена через *S(t,r)*. Фактор *S(t,r)* визначається радіус-вектором **r** і є функцією форми кратера, що визначає зміну структури поверхні в часі і просторі.

Отриманий зв'язок між системами відліку дозволяє визначати швидкості руху точок поверхні матеріалу в області лазерного впливу з точки зору спостерігача.

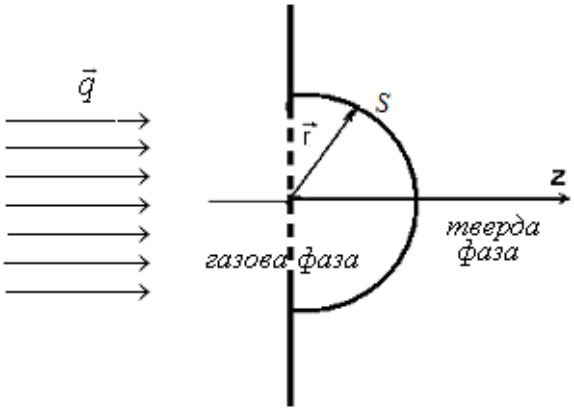


Рис 2. Ілюстрація до означення «функції форми кратеру».

Щоб сформулювати рівняння для цієї функції форми кратеру була використана умова балансу потоку маси. Завдяки цьому, та з врахуванням виведених координатних перетворень, отримана можливість прослідкувати приповерхневі зміни під час руйнуючого лазерного впливу. В результаті досліджень, було сформульовано диференціальне рівняння в частинних похідних:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = P^{\beta} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2}. \quad (2)$$

Тут P – безрозмірний тиск, спричинений випромінюванням на поверхні твердого тіла; $\beta = \frac{\kappa+1}{2\kappa}$, к – показник політропи, що змінюється від 1 до 5/3, в залежності від властивості газу, що випаровується з опромінюваної поверхні. Для знаходження оцінюючого розв'язку показник політропічності к було прийнято близьким до одиниці, що відповідає неідеальному газу (молекули не точкові).

В роботі було проведено числове моделювання динаміки утворення кратера за спрощеною формулою:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = P\sqrt{1+\left(\frac{\partial S}{\partial r}\right)^2} \qquad (3)$$

Початкові умови для цього рівняння є очевидними:

$$S(0,r)=0, \quad S(t,\infty)=0.$$

Задана типова модельна форма тиску, спричиненого лазерним імпульсом:

$$P = \frac{1-\exp(-t^n)}{1+\exp\left(10(t-\tau)\right)}\exp\left(\frac{r^2}{r_0^2}\right),$$

де τ довжина лазерного імпульсу, r_0 ширина пучка. Довжини імпульсів мали фемтосекундні значення при значеннях потоку випромінювання q~10^{13} Вт/см^2. При цьому функція форми кратера $S(t,r)$ розраховувалась у нанометрах.

На рис. 3 наведені профілі кратера для різних моментів часу. Початок координат співпадає з центром перерізу лазерного імпульсу.

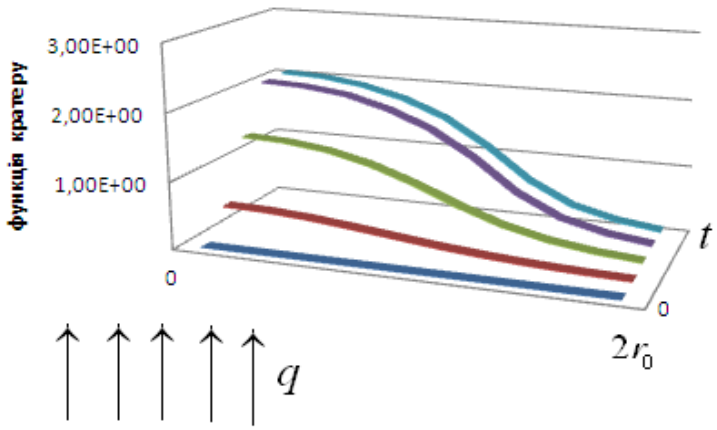


Рис. 3. Динаміка розвитку кратера в часі.

Як видно з рисунку, процес утворення кратера на поверхні чітко прослідковується.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1 Потоки, що приводять до структурних поверхневих змін без оплавлення поверхні приймають значення більші 10^{12} Вт/см^2 і ця величина залежить від властивостей опромінюваного матеріалу.

2. Опираючись на тестові розрахунки можна стверджувати, що побудована модель адекватно описує процеси, що відбуваються на твердій поверхні під впливом дії потужних фемтосекундних лазерних імпульсів.

3. Результати відповідають теоретичним уявленням про процес розвитку корозійного кратера. Застосування даної моделі в подальшому може бути корисним при прогнозуванні змін на поверхнях конкретних твердих матеріалів під дією потужного випромінювання.

Список використаних джерел

1. С.И. Анисимов, Б.С. Лукьянчук. Избранные задачи теории лазерной абляции.// УФН. – 2002. – 172, 3. – С.301–333.
2. А.А. Ионин, С.И. Кудряшов, С.В. Макаров, Л.В. Селезнев, Д.В. Синицын. Генерация и регистрация сверхмощных ударных волн при абляции поверхности алюминия под действием высокоинтенсивных фемтосекундных лазерных импульсов // Письма в ЖЭТФ. – 2011. – Т. 94. – С. 35.
3. Д.В. Абрамов, С.М. Аракелян, С.А. Маков, В.Г. Прокошев, К.С. Хорьков Формирование системы микрократеров на поверхности титана при воздействии фемтосекундным лазерным излучением в условиях быстрого охлаждения. // Письма в ЖТФ. – 2013. – Т. 39, Вып. 16. – С. 14-22.
4. L.V. Shmeleva, S.M.Yezhov, A.D. Suprun, S.Ya. Shevchenko. Theory of plasma dynamics for the case of solid matter surface destruction by pulse of power irradiation // Ukr. J. Phys.– 2006, –V51, –№8, p. 788-794

УДК 620.194.3:620.178.162.42

М.С. Хома[1], І.О. Рябцев[2], В.А. Винар[1], Х.Б. Василів[1], Н.Б. Рацька[1], В.Р. Івашків[1], Є.Ф. Перепльотчіков[2]
1 – Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів, chrystyna.vasyliv@gmail.com
2 – Інститут електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, м. Київ, ryabtsev39@gmail.com

КОРОЗІЙНА ТА ТРИБОКОРОЗІЙНА ПОВЕДІНКА ПЛАЗМО-ПОРОШКОВИХ ПОКРИТТІВ

У сучасному машинобудуванні використовується широкий спектр металевих, неметалевих і композиційних матеріалів, для підвищення роботоздатності яких в умовах трибокорозії застосовують багато методів: підбір контактуючих пар, легування, модифікація робочих середовищ, нанесення покриттів, електрохімічні підходи та інші [1-3]. З огляду на їх різноманітність і умов роботи вузлів тертя, єдиних рекомендацій щодо підвищення зносостійкості його деталей, які піддаються трибокорозії, дати не можна. Для кожного окремого випадку методи захисту можуть бути розроблені тільки після ретельного вивчення впливу робочих середовищ на процес і інтенсивність зношування матеріалів, з яких виготовлені деталі.

Одним із методів відновлення та підвищення роботоздатності поверхонь деталей нафтогазового обладнання, що працюють в умовах інтесивного корозійно-механічного зношування є метод плазмово-порошкового наплавлення [4]. Зокрема даним способом відновлюють поверхні запірних шиберів та інших поверхонь нафтогазовидобувного обладнання, при цьому використовують в якості наплавлюваного матеріалу сплави на основі кобальту, нікелю, заліза, леговані вуглецем, бором і кремнієм [5, 6]. Для вивчення властивостей наплавлених шарів необхідна знати їх характеристики за умов експлуатації в різних середовищах. Тому дана робота була направлена на комплексні дослідження мікромеханічних, корозійних та трибокорозійних властивостей наплавлених шарів з різним хімічним складом у корозивно-активних середовищах за наявності сірководню, хлоридів та аміаку.

Плазмово-порошкове наплавлення проводили на універсальній установці ОБ2184 на базі апарату А1756, розроблену у ІЕЗ ім. Є.О. Патона [7]. Хімічний склад порошків для наплавлення наведено у табл.1. Режим наплавлення: струм 250…300 А, подача порошку 3 кг/год, швидкість наплавлення 6 м/год, розмах коливань плазмотрона 24 мм, їх частота 45 хв$^{-1}$. Витрати транспортувального, плазмоутворювального та захисного газів (аргон в усіх випадках) відповідно 3 л/год; 2 і 12 л/хв. Наплавлені за цих умов валики мали ширину 25…35 мм і висоту 6,0…6,6 мм за двошарового наплавлення.

Таблиця 1

Хімічний склад порошків для плазмово-порошкового наплавлення, mass, %

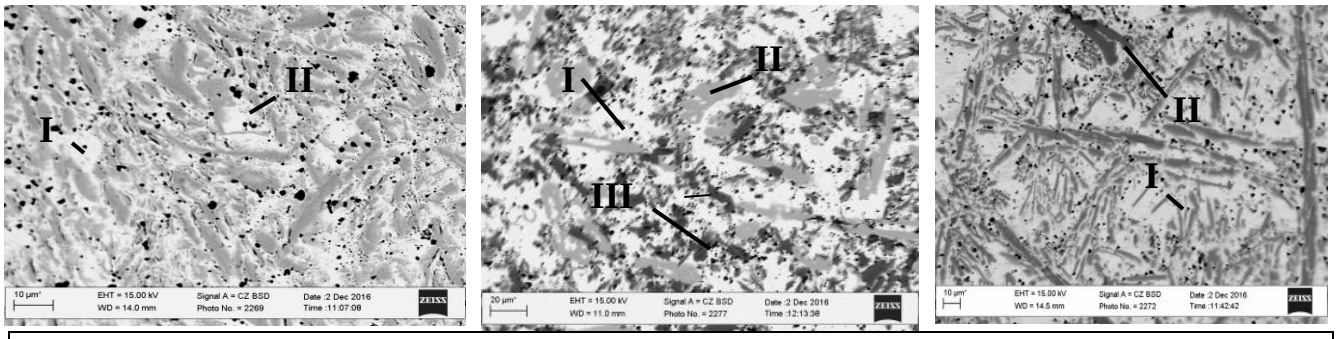
Марка	C	Cr	Si	Mn	Ni	Fe	B	Co	Інші
ПР (06Х17Н80С3Р3)	0,6…0,9	15…17	2,7…3,7	–	Основа	≤5,0	2,3…3,0	–	–
ЦН-6 (01Х17Н8С6Г)	0,05…0,12	15…18	4,8…6,4	1…2	7…9	Основа	–	–	–
Дослідний склад (08Х17Н35С3Р3)	0,8	18	3,5	≤ 1,0	35	35	2,5	–	–

Корозійно-механічне зношування вивчали на установці тертя зі зворотно-поступальним рухом індентора за схемою кулька – площина [8]. Контртіло – керамічна кулька (Al_2O_3) діаметром 9 mm. Прикладене нормальне навантаження Р – 10Н, довжина доріжки тертя – 16 мм, швидкість переміщення індентора – 0.003 м/с. Характер зміни досліджуваних параметрів за трибокорозійних випробувань реєстрували аналого-цифровим пристроєм за допомогою персонального комп’ютера з кроком вимірювань 0,25 с. Ступінь зношування зразків після тертя визначали за шириною трека утвореної в результаті взаємодії корундової кульки з поверхнею сталі, твердість якої є суттєво

нижчою порівняно з корундом. Електрохімічні дослідження за статичних умов та при трибокорозії проводили за допомогою потенціостата IPC-ProM з використанням хлорсрібного електрода порівняння та платинового допоміжного. В якості середовищ служили: 3% розчин NaCl - pH=7, 3% розчин NaCl+0.025% (NH_3+H_2O) – pH=4 та 3% розчин NaCl+ H_2S(насичений).

Мікроструктуру поверхонь вивчали металографічним методом на сканівному електронному мікроскопі EVO 40XVP із системою мікрорентгеноспектрального аналізу з використанням енергодисперсійного спектрометра INCA ENERGY 350.

Досліджено різні за складом та структурою наплавлені шари (Рис.1) 01Х17Н8С6Г (основа Fe), 06Х17Н80С3Р3 (основа Ni), 08Х17Н35С3Р3 (основа Ni-Fe). Встановлено, що вони мають гетерогенну структуру, яка визначає їх мікромеханічні, корозійно-електрохімічні, трибокорозійні властивості. Для наплавленого шару на основі заліза структура являється двохфазною з різною мікротвердістю складових 6…6,5 і 7,5…8 ГПа. У шарі на основі нікелю, після наплавлення утворюється трьохфазна структура з мікротвердістю складових 6,0…7, 7…8,5 і 15 ГПа. Для покриття з залізо-нікелевою основою утворюються дві фази мікротвердість яких 7,0…7,5 і 10,1…12,2 ГПа. Для шарів на основі нікелю та нікель-заліза характерна вища твердість структурних складових, яка пов'язана із більшою концентрацією вуглецю (0,7-0,9%) у порошку у порівнянні із покриттям на залізній основі (до 0,12%).



Мікротвердість основних фаз, H_μ, ГПа						
I	II	I	II	III	I	II
6,0…6,5	7,5…8,0	6,0…7,0	7…8,5	15	7,0…7,5	10,1…12,2

Рис. 1. Структура та мікротвердість шарів нанесених методом плазмо-порошкового наплавлення:
а - 01Х17Н8С6Г (основа Fe); б – 06Х17Н80С3Р3 (основа Ni);
в- 08Х17Н35С3Р3 (основа Ni-Fe)

Вивчено електрохімічну поведінку наплавлених шарів у корозивно-активних середовищах за наявності сірководню, хлоридів та аміаку (табл. 2). Показано, що зі збільшенням водневого показника середовища від pH4 до pH10 густина струмів анодної поляризації сплавів знижується. Швидкість корозії визначається анодними процесами у розчині 3% NaCl+NH_3 і катодними процесами у 3% NaCl і 3% NaCl+H_2S. За корозійною тривкістю, в досліджуваних середовищах, наплавлений шар композитом на Ni-Fe основі поступається двом іншим, густина струму складає 0,47…1,6·10^{-3} мА/$см^2$ у порівняні із 0,56…0,8·10^{-3} мА/ $см^2$. Однак за умов трибокорозії у парі з керамічною корундовою кулькою покриття на основі заліза-нікелю має найнижчі значення коефіцієнта тертя та втрати матеріалу у всіх досліджуваних середовищах (табл. 2), що свідчить за вищий його опір трибокорозійному руйнуванню.

Спостерігається чітка залежність між триботехнічними характеристиками та корозійними (густина струмів корозії) наплавлених шарів. Зі зростання pH середовища знижуються густина струмів корозії для шарів з різною основою, а коефіцієнт тертя, та втрати матеріалу зростають. Механізм контактної взаємодії шарів з різною основою визначається структурною гетерогенністю та трибологічними характеристиками окремих структурних складових. Так за контактної взаємодії поверхневих шарів 06Х17Н80С3Р3 з керамічною кулькою відбувається вихід крихких складових з високою мікротвердістю (15 ГПа) у зону тертя. Це відображається у невисоких значеннях коефіцієнта тертя, проте інтенсивнішому зношуванню за механізмом мікрорізання, втрати матеріалу на ~45 % більші ніж у покритті на залізо-нікелевій основі. У матриці шарів 01Х17Н8С6Г

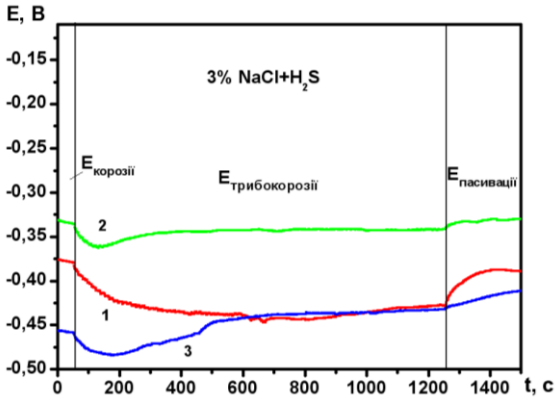
і 08Х17Н35С3Р3 крихка складова відсутня, а тверді фази рівномірно розподіляються в пластичній матриці, що відповідає правилу Шарпі [9] і контактна взаємодія проходить за відсутності елементу абразивного зношування, що і пояснює високий опір трибокорозії.

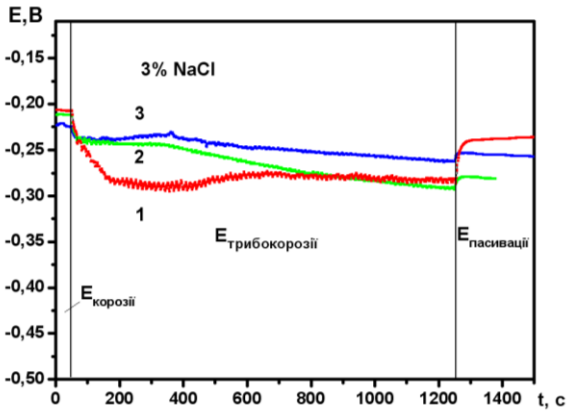
Таблиця 2

Густина струмів корозії, коефіцієнт тертя та ширина доріжок тертя шарів нанесених методом плазмо-порошкового наплавлення у різних середовищах.

Наплавка / Середовище	01Х17Н8С6Г (основа Fe)			06Х17Н80С3Р3 (основа Ni)			08Х17Н35С3Р3 (основа Ni-Fe)		
	i, мА/см^2	В,мкм	μ	i, мА/см^2	В,мкм	μ	i, мА/см^2	В,мкм	μ
3%NaCl+H_2S (нас) (pH 4)	0,00075	180	0,1	0,0006	210	0,13	0,0016	140	0,09
3% NaCl (pH 7)	0,00065	190	0,21	0,0008	230	0,16	0,0019	160	0,1
3%NaCl+0,025% (NH_4OH) (pH 9)	0,00065	260	0,41	0,00056	300	0,35	0,00047	190	0,31

За зміною електродних потенціалів при корозійно-механічному зношуванні можна якісно оцінити руйнування та утворення вторинних структур у зоні фрикційної взаємодії [10]. Показано (рис. 2), що найбільша різниця між потенціалами корозії $E_{кор}$, трибокорозії $E_{трибокорозії}$ та пасивації $E_{пасивації}$ для усіх наплавлених шарів характерна для середовища 3% NaCl+NH_3. Це свідчить за утворення найбільш щільних плівок на поверхні зони контактування, які з початком фрикційної взаємодії руйнуються, цим самим складаючи велику різницю між потенціалами корозії, пасивації та потенціалом трибокорозії. В процесі встановленого тертя вторинні структури інтенсивно руйнуються та відновлюються, що відображається у осциляціях трибопотенціалу, які свідчать за високу швидкість репасивації поверхні і руйнуванні матеріалу за механізмом окислювального зношування





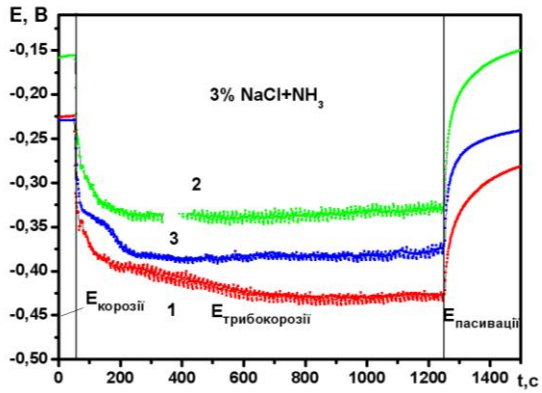


Рис. 2. Зміна електродних потенціалів поверхні сплавів під час тертя у 3% NaCl (а), у 3% NaCl+NH_3 (б), у 3% NaCl+H_2S (в). Покриття на основі заліза (1), нікелю (2) і нікель-залізо (3).

Зі зниженням показника pH середовища знижується щільність поверхневик плівок, а також швидкість репасиваційних процесів, яка у сірководеньвмісному середовищі є мінімальною. Різниця між потенціалами є несуттєвою і практично відсутні локальні коливання трибопотенціалу, а коефіцієнт тертя є найнижчим у порівнянні із іншими середовищами. Фрикційна взаємодія шарів із контртілом відбувається без руйнування і утворення вторинних структур, що і знижує втрати матеріалу.

Встановлено, що різниця між потенціалами корозії, трибокорозії і пасивації корелює із концентрацією вуглецю. Зокрема це чітко простежується при порівнянні матеріалу 01Х17Н8С6Г (основа Fe) та 08Х17Н35С3Р3 (основа Ni-Fe) у досліджуваних середовищах. Найбільша різниця між потенціалами, а також локальні осциляції трибопотенціалу характерні для наплавленого шару з меншою кількістю вуглецю, що пов'язано із більшою пошкоджуваністю поверхні за рахунок меншої твердості у поверхневих шарах покриття.

Висновки.

1. Встановлено, що зі зростанням pH розчину корозійна тривкість досліджуваних покриттів зростає. Найвищою корозійною тривкістю володіє наплавлений шар на основі нікелю 06Х17Н80С3Р3, однак через руйнування крихких складових покриття у зоні тертя формується абразив, який інтенсифікує руйнування за умов трибокорозії. У порівнянні із іншими покриття 06Х17Н80С3Р3 володіє найнижчим опором корозійно-механічному руйнуванню.
2. У матриці шарів 01Х17Н8С6Г і 08Х17Н35С3Р3 крихка складова відсутня, а тверді фази рівномірно розподіляються в пластичній матриці, що відповідає правилу Шарпі і контактна взаємодія проходить за відсутності елементу абразивного зношування, що і пояснює високий опір трибокорозії.
3. Показано, що за співставленням потенціалів корозії $E_{кор}$, трибокорозії $E_{трибокорозії}$ та пасивації $E_{пасивації}$ можна якісно оцінювати процеси утворення та руйнування вторинних структур у зоні фрикційної взаємодії поверхонь за трибокорозії. Додаткову інформацію може надавати рівень локальних осциляцій трибопотенціалу, який характеризує швидкість репасивації поверхні.
4. Запропоновано новий склад матеріалу 08Х17Н35С3Р3 для відновлення та підвищення роботоздатності поверхонь за умов дії корозійного чинника та тертя. Дане покриття було нанесено на поверхню шиберу запірної арматури і пройшло дослідно-промислову перевірку на ПАТ «*Конотопський арматурний завод*».

Список використаних джерел

1. Tribocorrosion properties of coatings arc sprayed with aluminium based cored wires / V. Pokhmurskii, M. Student, V. Dovhunyk, V. Vynar, H. Pokhmurska, B. Wielage, T. Grund /. European corros. congres EUROCORR'07, Dusseldorf, Germany, Paper No 1351CD ROM – 7 p.
2. Favero M., Stadelmann P. and Mischler S. Effect of the applied potential of the near surface microstructure of a 316 steel submitted to tribocorrosion in sulfuric acid // J.Phys. D: Appl. Phys. – 2006. – 39. – P.3175–3183.
3. Landolt D., Stemp M, and Mischler S. Electrochemical methods in tribocorrosion: a critical appraisal // Electrochim. Acta. – 2001. – 46. – P. 3913–3929.
4. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменно-порошковая наплавка. – Киев: Экотехнология, 2007. – 292 с.
5. Microstructure and Abrasive-Wear Resistance of the Vibration-Deposited Metal of Core Wires of the Basic Fe–Cr–B System / Voitovych A., Pokhmurs'ka H., Student M., Student O. //Materials Science. -2016. – Volume 52. –Issue 3. – P.365–370.
6. The study of the technology of laser and plasma surfacing of engine valves face made of X40CrSiMo10-2 steel using cobalt-based powders / Klimpel A., Dobrzański L.A., Lisiecki A., Janicki D. – Journal of Materials Processing Technology. –2006. – Vol. 175. – Issue. 1–3. – P. 251-256.
7. Плазмово-порошкове наплавлення високолегованих сплавів на основі заліза, хрому і нікелю на низьколеговані конструкційні сталі з метою підвищення їх зносотривкості / [Є. Перепльотчіков, Х. Василів, В. Винар та ін.]. // ФХММ. – 2018. – №3. – С. 81–88.
8. Vynar V. A. Methodical specific features of tribocorrosion investigations / V. A. Vynar, V. M. Dovhunyk, M. M. Student. // Materials Science. – 2011. – P. 633–639.
9. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с
10. Determination of the Mechanism of Tribocorrosion of D16T Alloy According to the Electrode Potential / [V. A. Vynar, V. I. Pokhmurskii, I. M. Zin та ін.]. // Materials Science. – 2018. – P. 717–723.

УДК 621.983.07:669.017

В.А. Тітов, Р.С. Борис, А.В. Чорний
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ НАУКОЄМНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ З ШАРУВАТИХ МЕТАЛЕВИХ ТА МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасні тенденції розвитку машинобудівної галузі промисловості характеризуються підвищеними вимогами до якості та експлуатаційних властивостей виробів при зниженні собівартості їх виробництва. Для забезпечення ефективності виробів машинобудування в їх конструкціях широко використовують різні матеріали з високими відносними показниками міцності, а також специфічними функціональними властивостями – алюмінієві і титанові сплави, сталі кераміку та інші.

Однією з найбільш актуальних науково технічних проблем використання різних матеріалів у конструкціях є забезпечення якості з’єднання деталей з різнорідних металів і сплавів. Для цих цілей широке застосування знаходять шаруваті металеві композиції трубчастої форми (біметалеві трубчасті елементи – БТЕ), які використовуються як перехідники для з’єднання трубопроводів в паливних та інших системах. Вони забезпечують ефективне з’єднання трубопроводів з різних металів.

Гостра конкуренція виробів машинобудування на світовому ринку вимагає мобільності виробництва, а дискретно-нестабільні програми випуску виробів – виготовлення їх одиничними екземплярами. Мобільність виробництва може бути забезпечена при використанні універсального обладнання машинобудівних підприємств, а також при створенні технологій виготовлення біметалевих трубчастих елементів з традиційних напівфабрикатів, наприклад листових напівфабрикатів металів і сплавів, з використанням не складної штампової оснастки методами витягування.

В роботі вирішена актуальна науково-практична проблема впровадження інноваційних технологій виготовлення виробів наукоємного машинобудування з шаруватих металевих та металокерамічних матеріалів.

На основі теорії пластичної течії та механіки композиційних матеріалів при взаємодії шарів з різних металів на граничній поверхні, а також екстремальних енергетичних принципів пластичного формозмінення. Побудована математична модель процесу сумісного деформування двох різнорідних металів при витягуванні з потоншенням в нагрітому стані. Встановлений взаємозв’язок у вигляді аналітичних залежностей кінематики течії шарів, ступеню їх деформації та параметрів напружено-деформованого стану на граничній поверхні з вихідними геометричними параметрами заготовки, механічними властивостями шарів і геометрією робочої поверхні матриці.

На основі чисельного моделювання в системах CAD/CAE ANSYS та DEFORM-3D представлено підтвердження основним аналітичних результатам при куті конусності матриці 4°…10°. Показано також, що на виході з осередку деформації на граничні поверхні складеної з двох матеріалів заготовки виникають максимальні стискаючі напруження і деформації зсуву поблизу поверхні, при цьому різниця осьових швидкостей деформацій дорівнює нулю, що забезпечує взаємодію шарів. Для збільшення зони дії контактних напружень і часу контакту шарів під навантаженням запропоновано використання на конічній поверхні матриці додаткового кута 1°…2°.

Експериментальні дослідження виконувались для різноманітних комбінацій сплавів: АМг5М + ВТ1-0, АМг5М + 12ХН10Т, АМг5М + Л63 і інші. Порівняння розрахункових результатів з експериментальними даними показали, що максимальна похибка розрахунку енергосилових параметрів не перевищує 7…10%, випередження шару з меншою границею текучості не перевищує 9…11%, деформації товщин шарів після витягування з потоншенням не

перевищує 10…14% для різноманітних значень коефіцієнтів механічної неоднорідності металів. Металографічний аналіз показав, що при деформації потоншення стінки 40…50% між шарами виникає взаємозв'язок, який формує з'єднання шарів. Опір на зсув на граничній поверхні біметалевого з'єднання складає 85…88% від теоретичного значення опору на зсув матеріалу з меншими показниками міцності.

В роботі вирішена задача підвищення міцності дифузійного з'єднання за рахунок використання проміжних шарів металів, які мають хорошу зварюємість з шарами металів біметалевої конструкції. Для вибору матеріалу проміжного шару створені узагальнюючі таблиці зварюємості металів різними видами зварювання та алгоритм вибору матеріалу проміжного шару. Встановлено, що найбільш ефективним для нанесення проміжного шару є процес плазмового напилення. Використання проміжних шарів дозволило збільшити опір на зсув біметалевих з'єднань до 94-96% від теоретичного значення.

Для реалізації процесу плазмового напилення, розроблено малопотужний плазмотрон з виносним анодом, для якого на основі осцилограм напруги на дузі встановлені раціональні значення відстані між катодом та виносним анодом на рівні 7-8 мм при оптимальному струмі дуги 80 А, витратах плазмоутворювального газу–аргону 0,16–0,17 $м^3$/год., які забезпечують генерацію ламінарного плазмового струменя максимальної довжини з температурою 1300 – 1700 °С на відстані 120-140 мм від зрізу сопла.

Розроблена технологія плазмового напилення забезпечила реалізацію процесів нанесення на поверхню металів шарів керамічних порошків плакованих вакуумно-дуговим методом. Нанесення шарів з порошків оксиду алюмінію плакованих двошаровими оболонками Ti-Al та Ti-Cu дає можливість створення зносо- та корозієстійких покриттів з малою пористістю для металокерамічних конструкцій.

За допомогою математичної моделі встановлено оптимальний діаметр частинок оксиду алюмінію, що забезпечує розігрів частинки до температури вище температури розплавлення тугоплавкого ядра, але нижче температури випаровування матеріалу оболонки.

Експериментальні дослідження властивостей покриттів показав, що найменшу пористість (3–6%), найбільшу міцність зчеплення і корозійну стійкість в розчинах соляної та азотної кислот має покриття на основі порошку, плакованого двошаровою оболонкою з титану і міді при оптимальному значенні масової долі міді в покритті на рівні 5–10%. При цьому підвищення поляризаційного опору системи покриття – корозійне середовище більшою мірою залежить від товщини основного шару покриття ніж від матеріалу і товщини підшару, що пов'язано із зменшенням кількості зв'язаних пор.

Розроблені технічні рекомендації плазмового напилення з застосуванням плакованих керамічних порошків для плазмового напилення захисних покриттів сприяє запобіганню розвитку мікротріщин в окремих деформованих частках, підвищенню зносостійкості покриттів в 5 - 6 разів, корозійно-ерозійної стійкості в 2-3 рази, межі міцності на вигин композиції основа - металокерамічне покриття на 20%.

Результати роботи впроваджені на промислових підприємствах та підтверджені актами впровадження з підприємств.

УДК: 621.77

В.А. Тітов, Т.Р. Гараненко, А.Д. Лавріненков
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, e-mail: tetiana.garanenko@gmail.com

ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ФРАГМЕНТУ ПОРОЖНИСТОЇ ЛОПАТКИ

Чисельні методи і сучасні програмні продукти дають можливість будувати математичні моделі, які описують процеси формоутворення. Моделювання проводять на етапі розробки технологічного процесу щоб ввести необхідні корективи для досягнення необхідного результату. Точність розрахунку залежить від кривих текучості [1,2].

Дослідження формоутворення порожнистої лопатки проводили з використанням системи інженерного розрахунку CAD/ CAE DEFORM 3D.

Спроектована установка для визначення оптимальних технологічних режимів формоутворення фрагменту порожнистої лопатки. Інструмент, тобто дві матриці які формують, імпортуємо з зовнішніх джерел (рис. 1.). Моделі створені в Solid Works і імпортовані в форматі *.STL.

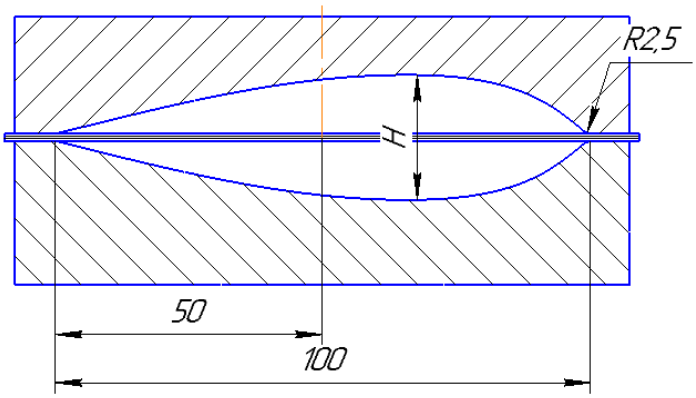


Рис. 1. Габаритні розміри порожнини для формоутворення фрагменту порожнистої лопатки

Заготовка плоска, яка складається з двох листів, які утворюють обшивку та третього листа, який розташований між двома листами та утворює наповнювач. Три листи з'єднанні між собою (рис. 2.). Заготовка розташована між двома напівматрицями (рис. 1.).

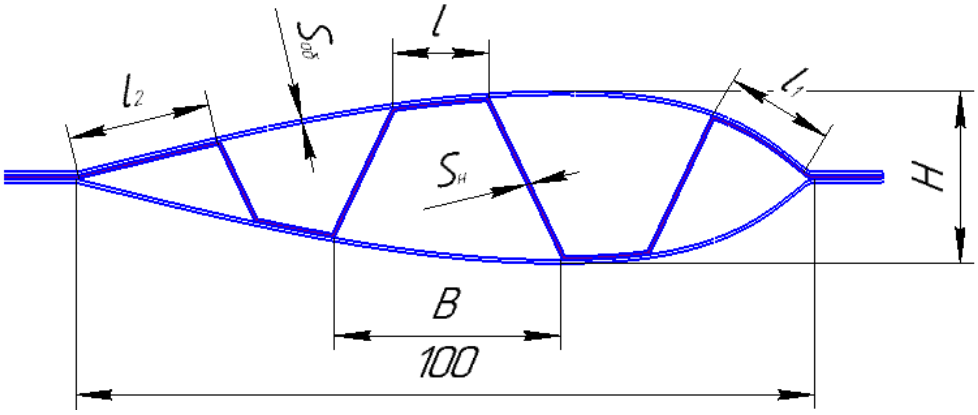


Рис. 2. Профіль фрагменту металевої порожнистої лопатки

Товщина листів вибиралася згідно товщин, які пропонувало виробництво. Було прийнято, що товщина наповнювача постійна та дорівнює $S_н = 0,3мм$, товщини обшивки $S_{об}$ при

моделюванні змінювалася. l, l_1, l_2 - довжини з'єднання наповнювача та обшивки (рис. 2.). Величина l_1, l_2 змінювались при моделюванні, а $l = 5мм$ - величина для всіх варіантів моделювання постійна. B - відстань між елементами з'єднання, дана величина змінювалась (рис. 2.). H - максимальна висота перерізу фрагменту порожнистої лопатки, величина не постійна. При моделюванні змінювалась $H = 22мм, 18мм, 12мм, 6мм$.

Фрагмент порожнистої лопатки виготовляється з титанового сплаву ВТ6. Модель матеріалу задавалась рівнянням $\sigma_e = K_T^{//} \cdot \varepsilon^m$. Властивості матеріалу були взяті $k = 5267.62 H / mm^2$, $m = 0.8$ (рис. 3.)

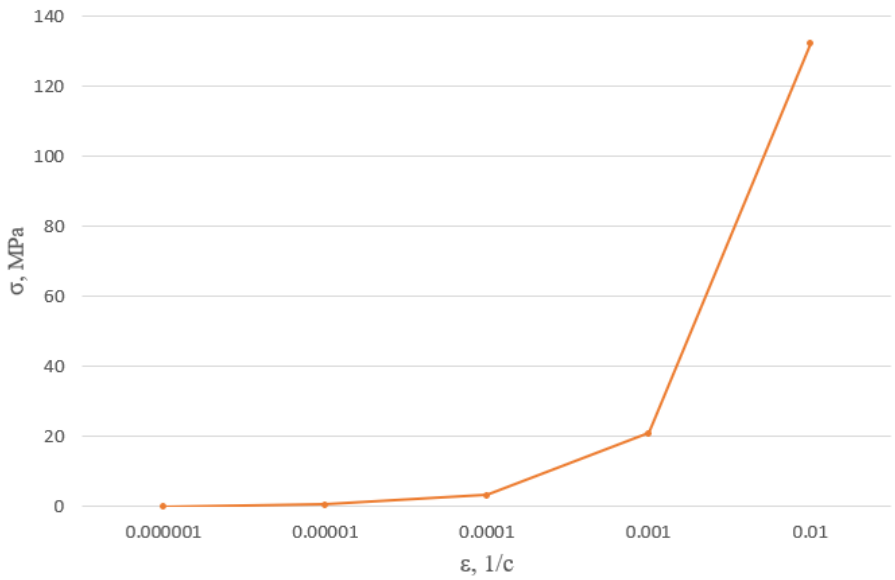


Рис. 3. Залежність $\sigma_e = K_T^{//} \cdot \varepsilon^m$

Кінцева елементна модель складалась з 2940 кінцевого елементу, мала 3437 вузла. Розподільне навантаження прикладалось до по всій поверхні (рис. 4.). Моделювався ізотермічний процес, температура постійна 920^0C. Параметри тиску формоутворюючого середовища 0.3 MPa.

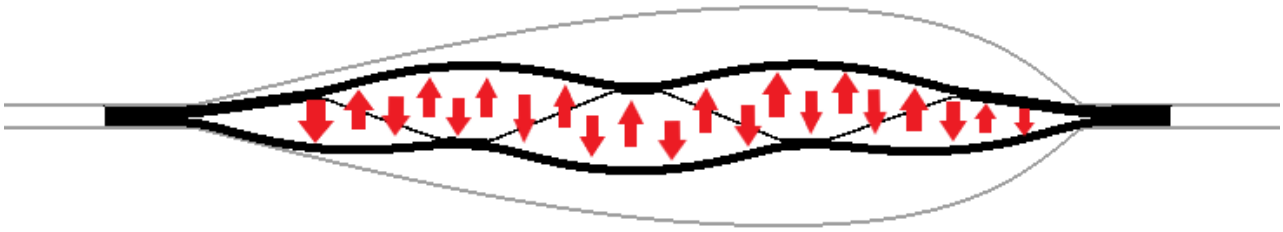


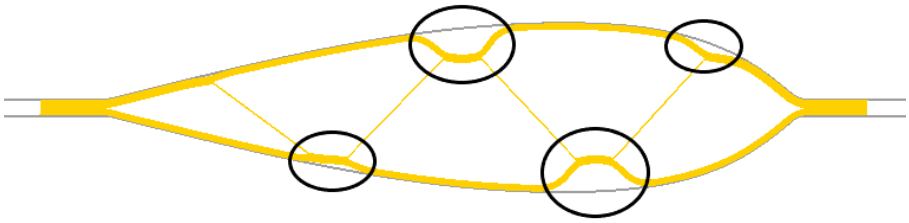
Рис. 4. Схема прикладання навантаження

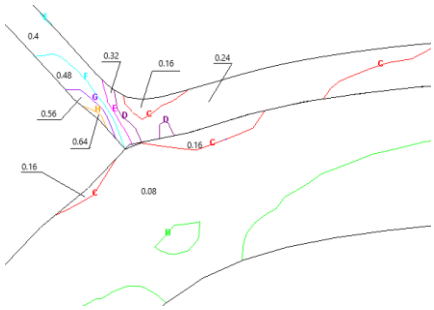
Програмний комплекс Deform процес формоутворення розбиває на ряд послідовних стадій в часі - крок. Критерієм розбивки процесу приймається найменша зміна поля швидкостей деформації всередині стадії. Програмний продукт Deform дає можливість визначити напружено – деформований стан виробу в певний момент формоутворення та в певній точці. В програмному комплексі Deform реалізована модель руйнування Летема – Кокрофта. Даний критерій заснований на оцінці повної роботи деформації на одиницю об'єму в точці руйнування при розтязі. Руйнування проходить в матеріальних точках від дії тільки напружень розтягу [3,4,5].

Аналіз напружено – деформованого стану показав, що небезпечна зона – зона з'єднання наповнювача з обшивкою (рис. 5.). В цій зоні максимальне потоншення.

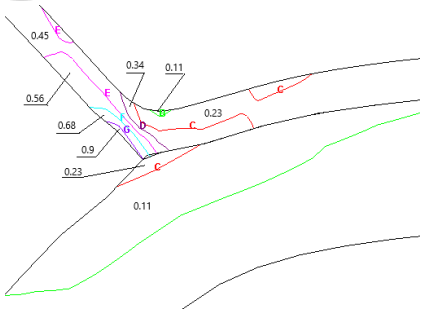
В процесі формоутворення у зразка №1 утворились чотири зони недоформовки (рис. 5.). Зони недоформовки це зони з’єднання наповнювача з обшивкою. Зі збільшенням кількості зон з’єднання зменшилась кількість зон недоформовки та їх розмір.

1. Параметри фрагменту $H = 22mm$, $B = 31mm$, $S_{об} = 1mm$, $S_н = 0.3mm$



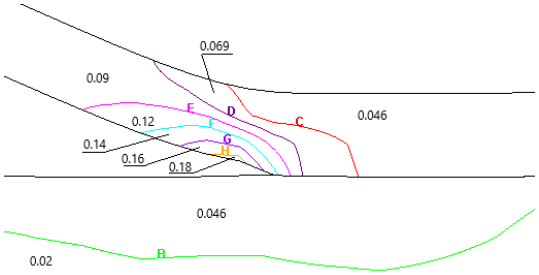


Інтенсивність деформації e_i

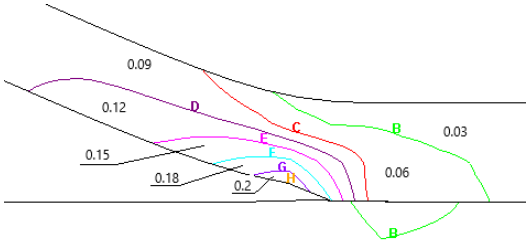


Ресурс пластичності

2. Параметри фрагменту $H = 6mm$, $B = 31mm$, $S_{об} = 1.5mm$, $S_н = 0.3mm$

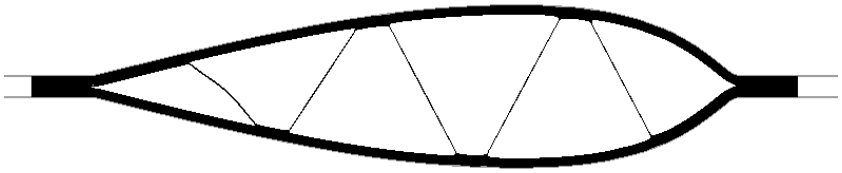


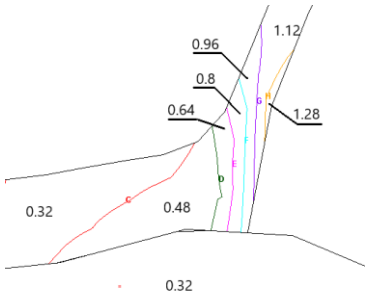
Інтенсивність деформації e_i



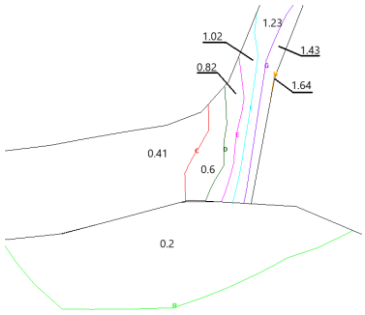
Ресурс пластичності

3. Параметри фрагменту $H = 22mm$, $B = 21mm$, $S_{об} = 1.5mm$, $S_н = 0.3mm$





Інтенсивність деформації e_i



Ресурс пластичності

Рис. 5. Аналіз напружено-деформованого стану фрагменту порожнистої лопатки

При зменшенні відстані між зонами з'єднання збільшується критерій руйнування. При висоті $H = 22мм$ критерій руйнування досяг значення 1.44, що свідчить про те що в зоні з'єднання обшивки та наповнювача відбувається руйнування. Найменший критерій руйнування мають фрагменти порожнистої лопатки товщиною обшивки 1.5мм. При висоті $H = 22мм$ та товщині обшивки 1.5мм відсутні зони недоформовки. При висоті $H = 22,18,12мм$ та товщині обшивки 1мм є зони недоформовки.

При висоті $H = 6мм$ найменший критерій руйнування та краща заповнення форми. Збільшення точок контакту наповнювача з обшивкою збільшує значення інтенсивності деформації. Для якісного заповнювання форми при висоті $H = 6мм$ достатньо три точки контакту з'єднання обшивки з наповнювачем.

Фрагмент порожнистої лопатки геометрією $H = 22мм, B = 21мм, S_{об} = 1мм, S_н = 0,3мм$ має місця недоформування та коефіцієнт Летема – Кокрофта більше одиниці. При збільшенні товщини обшивки до 1.5мм (зразок 3) якість заповнення зовнішньої форми краща, але коефіцієнт Летема – Кокрофта більше одиниці в зоні максимального розтягу.

Збільшення точок з'єднання обшивки з наповнювачем, тобто зменшення величини В, збільшує коефіцієнт Летема-Кокрофта. При В=32мм збільшення товщини обшивки до 1.5мм зменшує коефіцієнт Летема – Кокрофта та покращує заповнення форми листового наповнювача при висоті Н=12…22мм, при В=25мм та $S_{об} = 1,5мм$ коефіцієнт Летема – Кокрофта збільшився.

ВИСНОВКИ

Точність результатів розрахунку залежить від граничних та початкових умов, які задаються користувачем. Без урахування реальних властивостей матеріалу неможливо отримати досить точну картину течії матеріалу.

Для всіх величин Н, небеспечна зона знаходиться в місці з'єднання обшивки з наповнювачем. При збільшенні висоти Н виникають зони недоформовки. Для ліквідації цих зон необхідно збільшувати товщину обшивки або збільшувати кількість зон з'єднання. Збільшення товщини обшивки до 1.5 мм покращує заповнення форми та усуває зони недоформовки. Збільшення товщини обшивки та кількість точок контакту збільшує час формоутворення.

Список використаних джерел

1. Кривицкий Б.А. Совершенствования методики определения реологических свойств титановых сплавов / Б.А. Кривицкий, К.С. Арсентьева // Титан. – 2012, №4. – С. 14-16
2. Смирнов О.М. Реологические модели как основной элемент моделирования процессов обработки металлов давлением/ О.М. Смирнов, С.А. Тулупов, М.А. Целин, н.л. Лисунец и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова – 2008, №2 - С. 45-52
3. Cockcroft M.G. Ductility and the workability of metals / M.G. Cockcroft, D.J. Latham // Journal of the institute of metals, 1968, 96, с. 33-39
4. Боткин А. В. Оценка поврежденности металла при холодной пластической деформации с использованием модели разрушения Кокрофт-Лэтэм и программного комплекса DEFORM 3D / А. В. Боткин, Р. З. Валиев, П. С. Степин // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. — С. 102-108
5. Watanabe A., Fujikawa S., Ikeda A., Shiga N. Prediction of ductile fracture in cold Forging // Procedia Engineering, 2014, vol. 81, pp. 425-430

УДК 532.51

І.В. Ночніченко, О.М. Яхно, О.Ф. Луговський, О.О. Томашевський
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕРЕГУЛЬОВАНОГО КАВІТАЦІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS

Дослідження явища переносу (енергії, маси, імпульсу) і вивчення робочих процесів та характеру руху течії у системах гідроприводу являє собою крупну наукову задачу, яка має важливе теоретичне та прикладне значення. Гідропривід є специфічним класом механізмів з рідинним робочим середовищем, яке має особливі властивості. Особливість роботи гідроприводу обумовлюють надзвичайно складні процеси і явища, такі як: вспінення, кавітація, пульсації тисків, що призводить до зміни коефіцієнтів переносу (Ейлера, Рейнольдса, Пекле, Пра́ндтля, Ну́ссельта, Га́ртмана та.ін) [1-2]. Зміна фізичних явищ та коефіцієнтів переносу, фізичних і хімічних властивостей робочої рідини (в’язкості, густини, теплопровідністі) призводить до нестабільності роботи окремих агрегатів та впливає на організацію робочих процесів. Це викликає зміни функціональних і робочих характеристик елементів гідроприводу та системи в цілому [1-2].

З іншого боку, кавітаційна обробка є одним з ефективних способів інтенсифікації хімічних процесів у рідині [3-5]. Кавітаційні явища застосовують для реалізації функцій керування витратою рідини, генерування коливань тиску, очищення, емульгування рідин, інтенсифікації хімічних процесів та ін.[3-5].

Аналіз явища переносу в процесах функціонування є одним з ефективних підходів до розгляду технічних систем та потребує більш ґрунтовного вивчення [1-2]. В процесах на макрорівні є поєднання різних явищ переносу [6,7].

Найбільш розповсюдженим методом моделювання потоку рідини є застосування рівнянь Нав'є – Стокса, які вирішують на основі ділянки континуум рівняння, що враховують локальне збереження маси, імпульсу та енергії [6].

Таким чином, метод чисельного моделювання для поглибленого аналізу процесів може бути представлено наступними етапами з застосуванням явища переносу [6,8]:

- вибір фізичної моделі досліджуваного явища і сукупності параметрів та врахування коефіцієнтів переносу, які визначають його особливості;
- вибір математичної моделі процесу і системи вихідних рівнянь розгляду (масштабування рівня розгляду системи та зведення до геометричних фігур або форм);
- формулювання початково-крайових умов задачі та дискретизація вихідної системи рівнянь;
- розробка та налагодження комплексу програм чисельного рішення задачі;
- тестування схеми;
- виконання розрахунків, аналіз та графічна обробка результатів розрахунку;
- результат (конструкція).

В даній роботі представлені результати досліджень, метою яких було моделювання для визначення впливу насиченості рідини газом та встановлення інтенсивності перебігу кавітації і параметрів потоку в каналах кавітаційного генератора. Розрахункова схема конструкції кавітаційного генератора зображена на (рис. 1). Дана конструкція має п’ять зон: вхідна ділянка, звуження конфузор який переходить в калібрований канал, розширення дифузор де відбувається кавітація, вихідна ділянка.

Розрахунок проводився за допомогою доповнення flowsimulation комп’ютерної програми SolidWorks. Початкові параметри: температура 293К, тиск навколишнього середовища 101325Па, рідина - вода, об'ємна концентрація газу в рідині в першому експерименті склала 0,005, у другому 0,001. Була задана одна гранична умова - тиск на вході в сопло становив 50

бар. Глобальні цілі розрахунку вибираємо наступні: швидкість, повний тиск, тиск, щільність потоку, об'ємна концентрація пари.

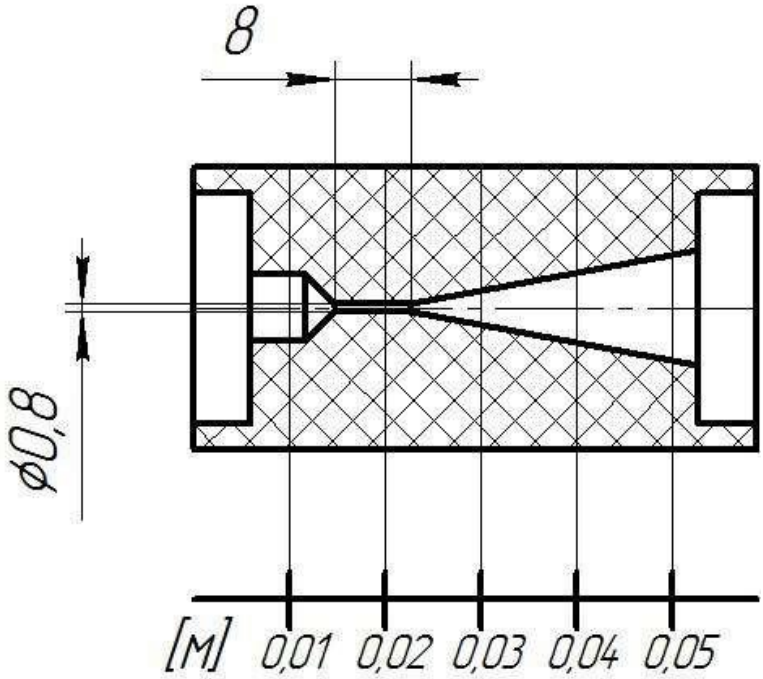


Рис. 1. Розрахункова схема конструкції кавітаційного генератора

Аналіз результатів, як це показано на рис. 2, ілюструє траєкторію руху рідини з температурною градацією тиску. Зони з зеленим і синім кольором вказують на падіння тиску значно нижче атмосферного. Синя зона вказує на падіння тиску нижче рівня тиску насиченої пари деяких рідин, що є характерною ознакою наявності кавітації [9].

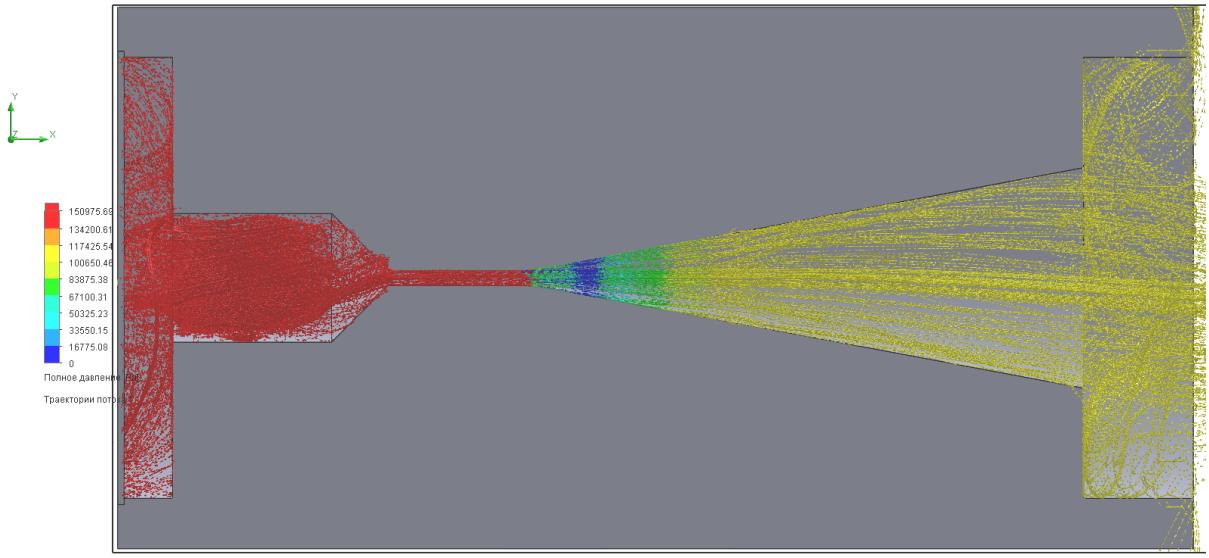


Рис. 2. Ілюстрація розподілу тиску в соплі з траєкторіями потоку
(дросельний канал з співвідношенням діаметра до довжини l/d ≥10)

Залежність порівняння розподілу тиску по осі моделі при різній концентрації розчиненого газу від довжини по осі кавітатора показана на рис.3. Підсумковий розподіл демонструє падіння тиску значно нижче атмосферного в перетині сопла (рис.3) з координатами 0,03-0,04 м (рис. 1), а на вихідній ділянці спостерігається вихроутворення. З розрахунку видно, що тиск в цьому перерізі може наближатися до нуля, падаючи нижче тиску насиченої пари рідини [9].

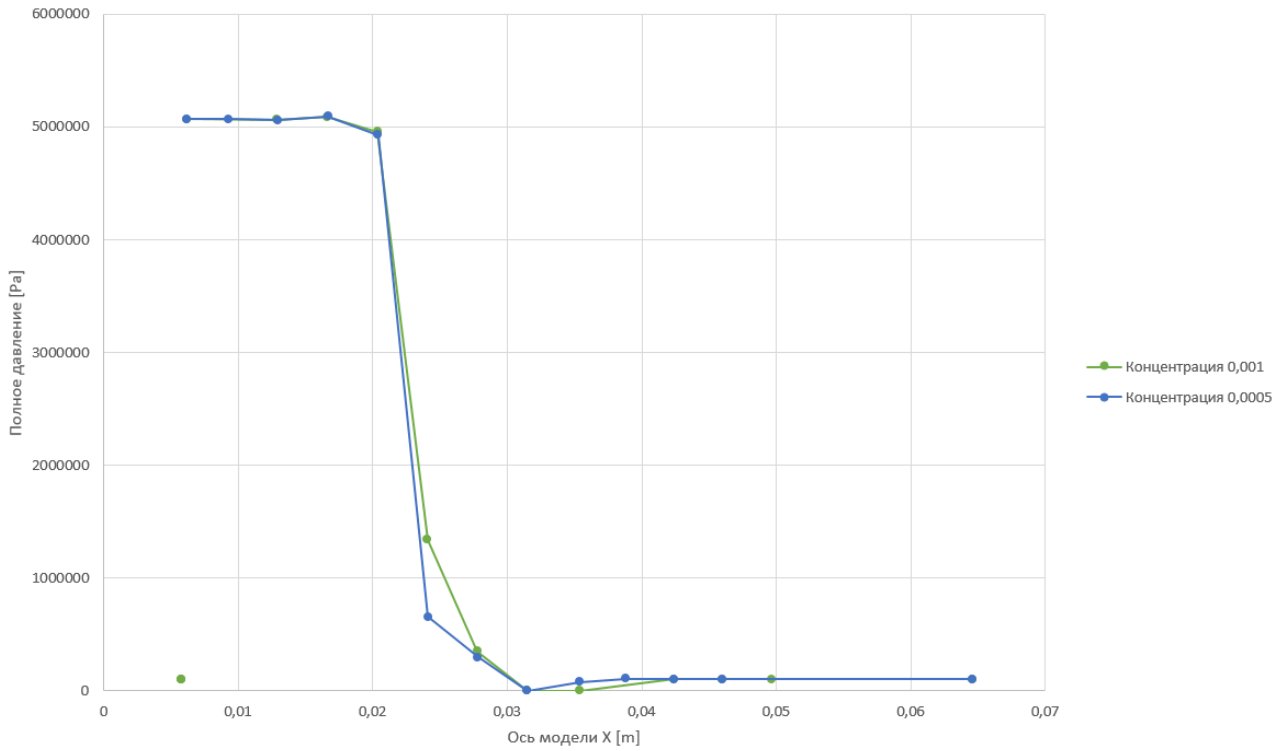


Рис.3. Залежність порівняння розподілу тиску по осі моделі при різній концентрації розчиненого газу від довжини по осі кавітатора

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. У процесі розрахунку з'ясувалося, що зміна концентрації розчиненого газу в рідині впливає на інтенсивність процесу кавітації.
2. Отримана залежність зміни розподілу тиску по осі моделі при різній концентрації розчиненого газу.
3. З огляду на наявні дані розрахунків про те, що в насадці даного типу в зонах підвищених швидкостей спостерігається сильне падіння тиску (в деяких ділянках навіть нижче тиску насиченої пари води), в ціх зонах можливе використання принципу газового ежектора для насичення рідини газом з метою інтенсифікації процесу кавітації.
4. В процесі моделювання було виявлено, що довжина каналу також впливає на інтенсивність кавітації.

Список використаних джерел

1. Шорин С . Н . Теплопередача . - М., Высшая школа, 1964 . - 490 с.
2. Трофимов В. А. Рабочие жидкости систем гидропривода / В. А. Трофимов, О. М. Яхно, А. П. Губарев, Р. И.Солонин. – К. : НТУУ «КПИ», 2009. – 184с.
3. Badakh V. Tarasenko T. Puzyk O. Krayushkina K. Functional units based on cavitation effects for hydraulic systems of ve-hicles, in Proceedings of the 16th Conference for Junior Re-searchers 'Science − Future of Lithuania'. Transport engi-neering and management, 8 May 2013, Vilnius: Lithuania,, P. 50 − 54.
4. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974.– 668 с.
5. Зайончковский Г.И. Дроссельные кавитационные генераторы и их применение в технике / [Г.И. Зайончковский, Т.В. Тарасенко, В.Г. Ланецкий, А.С. Пузик] // Авиационнокосмическая техника и технология. – 2012. – №5(92). – С. 24-30.
6. D Raabe (2004) Overview of the lattice Boltzmann method for nano- and microscale fluid dynamics in materials science and engineering Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. -12 (2004) p.13-46.
7. Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (August 2001). Transport Phenomena (Second ed.). John Wiley &Sons. ISBN 0-471-41077-2.
8. Бруяцкий Е. В. Метод контрольного объема в компьютерной гидродинамике / Е. В. Бруяцкий А. Г. Костин, Е. И. Никифорович - Киев : Милениум, 2016.- 520 с.
9. Томашевский А.О. Экспериментальное исследование гидродинамической кавитации /Томашевский А.О., Ночниченко И.В. // II Международная научно техническая конференция «Гидро-и пневмоприводы машин» – Винница, 2016 – С. 203-205.

УДК 621.7.044.4

І.В. Ночніченко, М.Л. Бекерман, А.О. Лавренюк
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ ДЛЯ КАВІТАЦІЇ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ

Завдяки своїй простоті, високому ККД електрогідравлічний ефект Юткіна Л. А. (ЕГЕ), набув широкого використання в промисловості, адже перетворення електричної енергії на механічну, не потребує ніяких проміжних модулів та механічних вузлів [1].

Електрогідравлічний ефект являє собою високовольтний електричний розряд в об'ємі рідини. При проходженні електричного розряду, крізь шар рідини відбувається виділення енергії в період досить короткого проміжку часу. Потужний високовольтний електричний імпульс викликає різні фізичні явища та ефекти. Зокрема — появу надвисоких імпульсних гідравлічних тисків, електромагнітне випромінювання, кавітацію та ін. [1,2]. Перед фронтом ударної хвилі виникає локальний тиск до 200 МПа і інтенсивна струминна течія зі швидкістю кумулятивних мікроструменів до 500 м/с. При імпульсному розряді виникають випромінювання: іонізуючі, акустичні хвилі, електромагнітні поля та високо швидкісні потоки з виникненням кавітації при схлипуванні зони розряду [1].

Існує модель росту і схлипування бульбашки, з врахуванням в'язкості, сил поверхневого натягу, гравітації, властивостей газів і пару, сонолюмінісценції та ін., які з'являються в середині бульбашки [3]. Одна з таких схем представлена на (рис.1.). Коли між катодом (1) та анодом (2) виникає достатньо велика різниця потенціалів, то зону (A) пронизує електричний розряд, що супроводжує миттєве локальне кипіння та утворює потужний викид енергії, яка переходить до зони (B). Зона (B), являє собою зону різкого підвищення тиску «вибуху», саме в цій зоні, відбувається зіткнення гарячого, розжареного, киплячого потоку, та холодної рідини. В результаті цього зіткнення, потік миттєво нагріває сусідній шар «холодної» рідини, який, в свою чергу, перетворюється на пар та має велике розширення, яке нагадує умовно «вибух». Зона (C) являє собою зону змішування, коли хвиля пару пронизує зону (C) це призводить до великого ряду хімічних та фізичних процесів, зокрема і кавітацію. Саме в цій зоні енергія електророзряду, потім вже вибуху, перетворюється на гідравлічну енергію, яка з великою швидкістю та потужністю, рухається до зони (D). Зону (D) можна назвати, як «зону гідравлічного удару». Адже в ця зона, являє собою потужну ударно-руйнівну хвилю, яка здатна зруйнувати все на своєму шляху. Далі ж гідравлічна енергія переходить до зони (F), в якій ударна хвиля гаситься. Вийшовши з зони (F), хвиля енергії остаточно згасає, розсіюється по всьому об'єму рідини у мікрострумені.

Основні технічні параметри розробленого ЕГЕ установки: напруга високовольтного трансформатор 15 кВ, сила струму -20 мкА, ємність конденсаторів 136 мкФ.

Питання пов'язані з описом поведінки бульбашки в каверні при ЕГЕ, взаємодії їх між собою, зростанням та подальшим їх руйнуванням являються надто складними, що до останнього часу повністю не вивченні. В зв'язку з цим в якості вхідних даних використовують підхід до розгляду явища пов'язаний з поведінкою одиничної бульбашки та його рух і коливання в рідинні і факторами на їх вплив [3].

Тиск рідини в навколишньому середовищі, де формується бульбашка, може бути визначений за формулою [3]:

$$p_{навк} = p_0 \frac{R_0^3}{R^3} + p_н \left(1 - \frac{R_0^3}{R^3}\right) + 2\sigma \left(\frac{R_0^2}{R^3} - \frac{1}{R}\right), \quad (1)$$

де R – радіус бульбашки, $p_н$ – тиск насиченої пари. Індекс 0 стоїть при величинах, відповідних до початкового значення розвитку бульбашки; σ – коефіцієнт поверхневого натягу.

На підставі наведеної формули можна знайти значення критичного радіуса бульбашки, тиск навколишнього середовища:

$$R_{кр} = \sqrt{3}R_0\sqrt{\frac{R_0}{2\sigma}\cdot\left(p_0 - p_н + \frac{2\sigma}{R_0}\right)} = \sqrt{3}R_0\sqrt{\frac{R_0}{2\sigma}}p_{r0} = \frac{4\sigma}{3(p_{кр} - p_н)}, \quad (2)$$

$$(p_{навк})_{кр} = -\frac{2}{3\sqrt{3}}\left(\frac{2\sigma}{R_0}\right)\sqrt{\frac{2\sigma}{R_0}\frac{1}{p_{r0}}} = p_н\frac{2}{3}\frac{2\sigma}{R_{кр}}$$

В даній роботі представлені результати досліджень, метою яких було перевірка ефективності та роботоспроможності розробленого електрогідравлічного кавітатора. Розрахункова схема конструкції кавітаційного генератора зображена на (рис. 2).

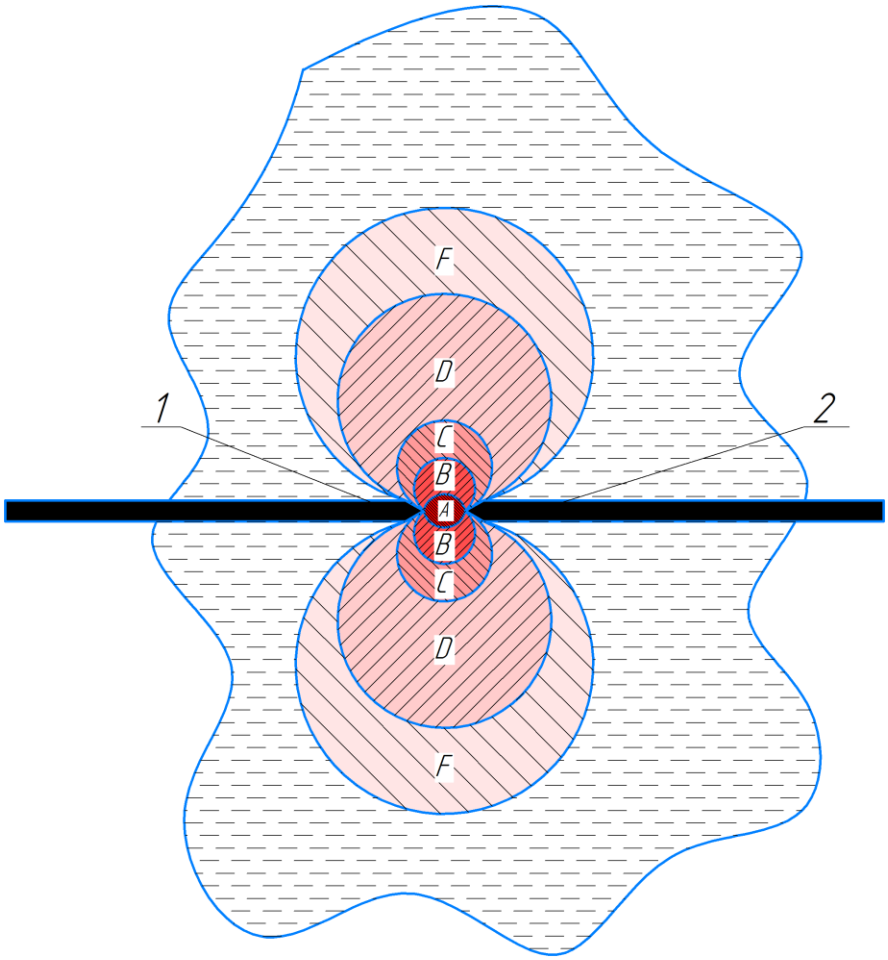


Рис. 1. Схема утворення бульбашки при електрогідравлічному ефекті
(1- катод, 2- анод)

Особливістю запропонованої конструкції є можливість регулювання величини іскрового проміжку, що забезпечує регулювання раціональних робочих параметрів кавітатора та дозволяє використовувати схему для різних технологічних процесів руйнування, очищення. Процес емульгування рідини показано показана на рис. 3 [4].

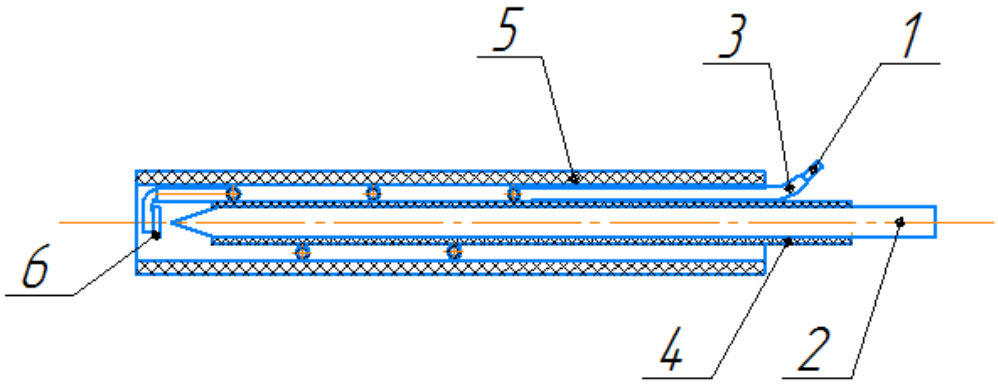
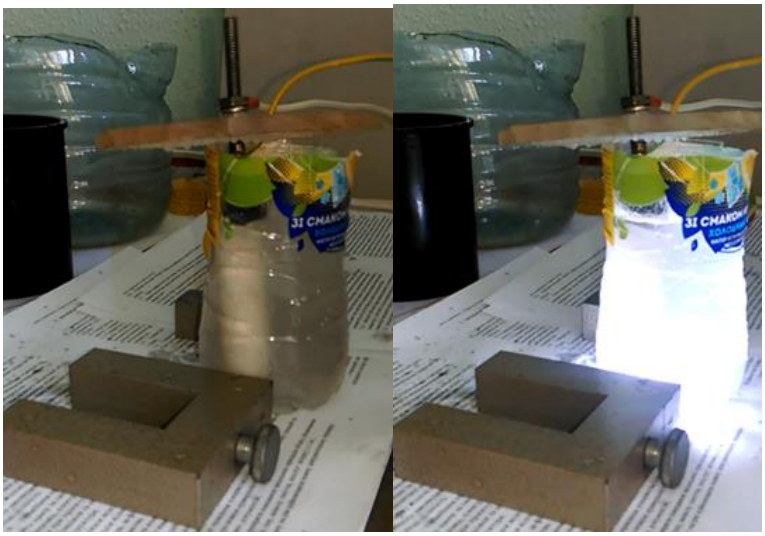


Рис. 2. Електрогідравлічний кавітатор
(1-анод; 2-катод; 3- ізолятор; 4- ізоляція катоду (діелектрична трубка); 5- корпус; 6- регульована анодна пластина)



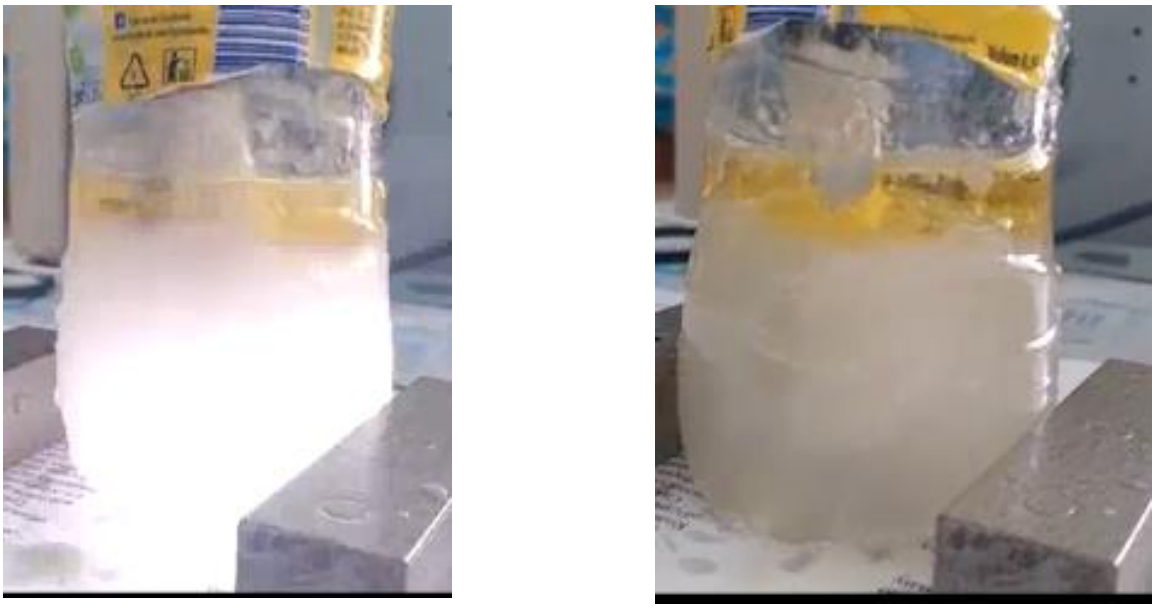
а б

Рис. 3. Ілюстрація процесу розряду за допомогою кавітатора
(а - кавітатор у бездіяльності; б - кавітатор у момент розряду)

Даний, електрогідравлічний кавітатор, був протестований та використаний для змішуванні водно-масляної емульсії на основі мастила марки Леол М20 та води (рис.4.). На рис.4а та рис.4б, зображено етапи процесів змішування водно-масляної емульсії в пропорції 1/3.

Рис. 4. Фото камери для отримування емульсії (в початковому стані без обробки)

Таким чином було отримана стійка водно-масляна емульсія після обробки кавітатаром на протязі 3 хвилин. Створення водно-масляної емульсії, за допомогою електрогідравлічного кавітатора, може бути значно простішим, від класичних технологій та до головної переваги запропонованої технологій можна віднести деструкцію на молекулярному рівні речовини при необхідності.



а) б)

Рис 5. Візуалізація етапів отримання водно-масляній емульсії
(а-виникнення електророзряду б-процес змішування)

За допомогою застосування розробленого кавітатора та установки в майбутньому планується спробувати подрібнити прополіс на менші фракції у водному середовищі з подальшим розчинення у воді.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. У процесі розрахунку з'ясувалося, що зміна зазору між анодом та катодом суттєво впливає на ефективність виникнення електрогідравлічного ефекту. Для даної конструкції встановлено раціональний зазор який становить1 мм.
2. Конструкція даного кавітатара, є робочою, завдяки своїй технологічності має не велику собівартість.
3. Електрогідравлічний кавітатор, може бути використаний у багатьох технологічних процесах, очищення, деструкції, ущільнення поверхневих шарів матеріалів та ін.

Список використаних джерел

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности Л.:Машиностроение, Ленингр. отд-ние,. 1986.— 253 с.
2. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект М , Л Машгиз, 1955.- 52 с.
3. Яхно О. М. Кавитация в переработке нефти / О. М. Яхно, А. Д. Коваль, Л. И. Пищенко, В. П. Паскалов, Н. Н. Яске. - К. : Світ, 1999. - 264 с. - Библиогр.: 90 назв. - рус.
4. М. Л. Бекерман, І. В. Ночніченко Створення установки для отримання електрогідравлічного ефекту з метою розв'язання навчальних завдань Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів Інновації молоді - машинобудуванню 2017 Секція: Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка м. Київ, 2017.- 3 С.

УДК 621

Р.О. Скотар[1], О.В. Холявік[1], А.В. Скорик[2], В.І. Стеблюк[1]
1 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна,
2 – ЗМКБ «Прогрес», м. Запоріжжя, Україна

РОЗДАЧА ВІДКРИТОГО КРАЮ ТРУБЧАСТОЇ ЗАГОТОВКИ З РАДІАЛЬНИМ ПІДПОРОМ

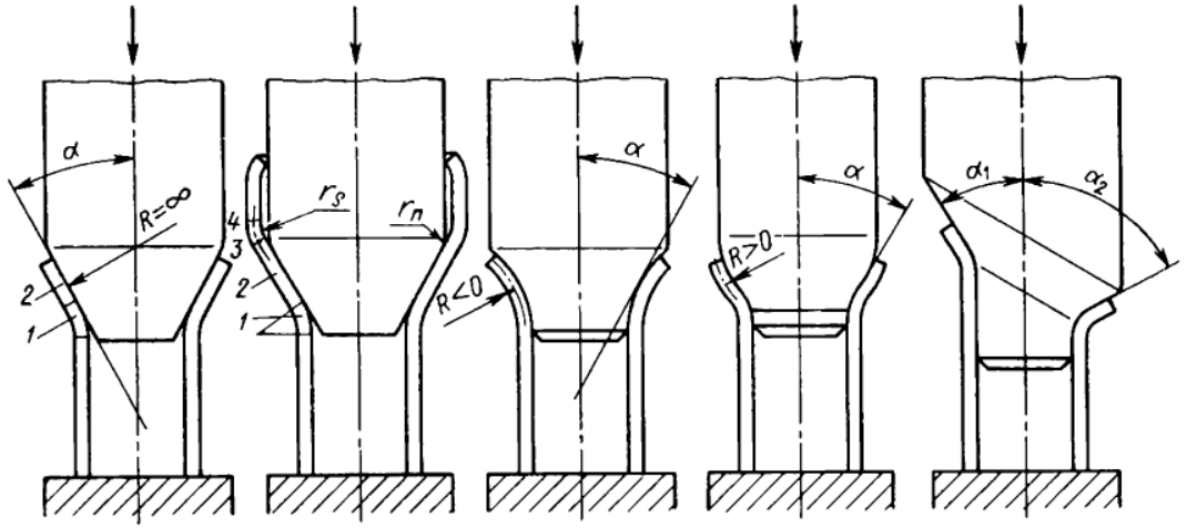
Удосконалення різноманітних технологій виготовлення того чи іншого типу деталей являється насущною потребою народного господарства. Серед актуальних задач перед інженерами та дослідниками стоять такі, як зменшення часових та матеріальних, а відповідно і людських, затрат на проектування, виготовлення і налагодження процесів виготовлення деталей. Якраз процеси обробки металів тиском (ОМТ), при застосуванні їх у серійному та масовому виробництві, являються такими, що дозволяють зменшити економічні показники виробництва у позитивному напрямку [1]. У конструкціях переважної більшості механізмів застосовуються вісесиметричні та трубчасті деталі. Так навіть у ракетобудівній галузі та авіабудуванні мають широке застосування елементи вісесиметричних конструкцій з конічною частиною. Тому ми вважаємо тему дослідження та вдосконалення процесів отримання конічних деталей актуальною [2, 3, 4]. Саме такі деталі раціонально отримувати способами холодного об'ємного та листового штампування.

Результати досліджень. На рисунку 1 показано типи деталей, що отримуються роздачею.

Роздача трубчастих деталей характеризується коефіцієнтом роздачі - відношення діаметру деформованої частини труби D_p до діаметру заготовки D:

$$K_p = D_p / D$$

При відкритій схемі роздачі зовнішня частина заготовки не навантажена силами, а питоме зусилля на поверхні контату пуансона й заготовки, як і сили тертя між ними при малій відносній товщині незначні. Тому напружений стан в осередку деформації характеризується односним розтягом в окружному напрямку, а напруженнями в меридіональному і нормальному (до стінки заготовки) можна знехтувати. Допустимий коефіцієнт обмежується появою тріщин на відкритому краї. Враховуючи схему напруженого стану допустимий коефіцієнт роздачі можна оцінити по відносному подовженню δр (%) при випробуванні металу на розрив Кр=(1+ δр). В більшості випадків його значення знаходиться в межах 1,12÷1,15.



а) б) в) г) д)

Рис. 1. Типи деталей, що отримуються роздачею:
а) конусна пряма роздача, б) конусна роздача з переходом в циліндричну частину, в) роздача за допомогою пуансону, що має внутрішнє заокруглення, г) роздача за допомогою пуансону,

що має зовнішнє заокруглення, д) роздача зрізаним під кутом пуансоном.

Збільшити допустимий коефіцієнт роздачі можна шляхом зміни схеми напруженого стану на більш сприятливу для пластичної деформації, наприклад, роздачею з радіальним підпором.

З цією метою розгядається спільна з заготовкою деформація пружно-пластичного кільця напресованого на відкритий край заготовки (Рис. 2).

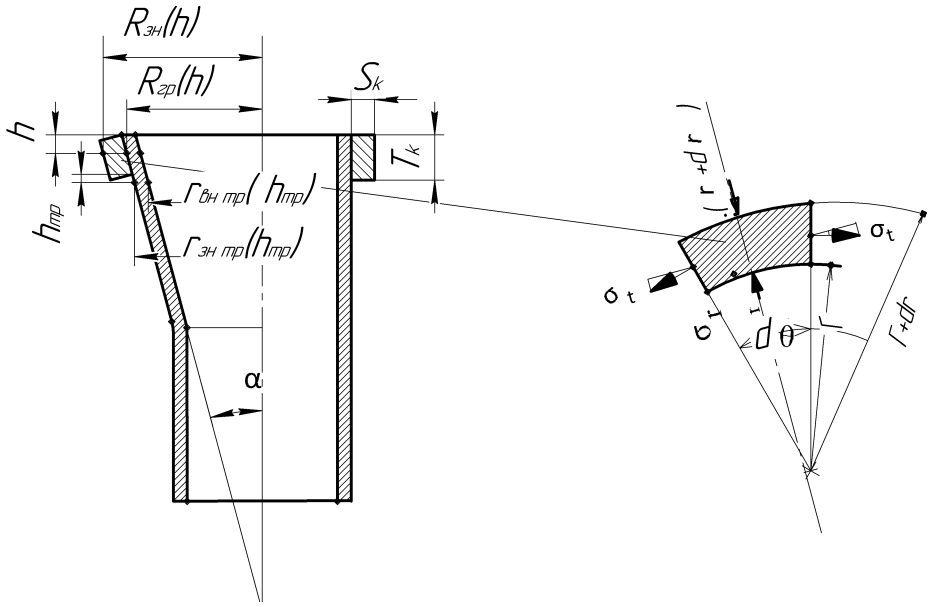


Рис. 2. Напружений стан осередку деформації при роздачі відкритого краю трубчастої заготовки з радіальним підпором.

Проаналізуємо напружений стан осередку деформації для вказаної схеми підпружинення при роздачі відкритого краю трубчастої заготовки з радіальним підпором.

Розглянемо сили, що діють на виділений елемент осередку деформації: по дузі радіуса r діє сила $\sigma_r\ r\ d\theta$, по дузі радіуса $(r+dr)$ діє сила $(\sigma_r+d\sigma_r)(r+dr)d\theta$, на бокові грані елемента діють сили $\sigma_t dr$. Рівняння рівноваги в проекції на вісь симетрії:

$$\sigma_r r d\theta - [(\sigma_r + d\sigma_r)(r+dr)]d\theta - 2\sigma_t dr \sin(d\theta/2) = 0$$

Замінимо $\sin(d\theta/2)$ на $d\theta/2$. Знехтуємо нескінченно малими вищого порядку та приведемо подібні члени:

$$-d\sigma_r r - \sigma_r dr - \sigma_t dt = 0 \text{ або } -d\sigma_r r = (\sigma_r + \sigma_t)dr$$

Так як $(\sigma_r \cdot \sigma_t)\langle 0$, то $(\sigma_r + \sigma_t) = \beta\sigma_s$ ($\beta \approx 1{,}15$ - коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження)

Тому диференційне рівняння рівноваги прийме вигляд

$$-d\sigma_r r = \beta\sigma_s dr$$

Розділивши змінні одержимо

$$d \cdot \sigma_r = -\beta \cdot \sigma_s \cdot dr / r$$

Загальний інтеграл рівняння $\sigma_r = -\beta\sigma_s \cdot \ln r + C$

Довільну сталу C знаходимо з граничних умов: при $r = R_{зн}(h)$, $\sigma_r = 0$:

$$0 = -\beta \cdot \sigma_s \cdot \ln R_{зн}(h) + C,$$

тому $C = \beta\sigma_s \cdot \ln R_{зн}(h)$

Підставляючи значення довільної сталої в загальний інтеграл рівняння, одержимо закон розподілу радіальних стискаючих напружень по товщині кільця:

$$\sigma_r = -\beta\sigma_s \cdot \ln r + \beta\sigma_s \cdot \ln R_{зн}(h),$$

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \cdot \ln(R_{зн}(h)/r)$$

При $r = R_{гр}(h)$ одержимо значення напружень на контактній ділянці між трубою та кільцем:

$$\sigma_{гр} = \beta\sigma_s \cdot \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\right].$$

Для ділянки труби, що знаходиться в контакті з кільцем диференційне рівняння рівноваги елементу осередку деформації і його загальний інтеграл має такий же вигляд як і для кільця:

$$\sigma_r = -\beta\sigma_s \cdot \ln r + C$$

Довільну сталу одержимо з умови $r = r_{тр\ зн}(h_{тр}) = R_{гр}(h)$, $\sigma_r = \sigma_{гр}$, $\sigma_{гр} = \beta\sigma_s \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\right]$.

Звідки $C = \beta\sigma_s \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\right] + \beta\sigma_s \cdot \ln R_{гр}(h)$

$$C = \beta\sigma_s \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\cdot\left(r_{тр\ зн}(h_{тр})\right)\right].$$

Підставимо значення довільної сталої в загальний інтеграл. Одержимо рівняння, що визначає розподіл радіальних напружень в стінці труби на ділянці її контакту з кільцем:

$$\sigma_r = -\beta\sigma_s \cdot \ln r + \beta\sigma_s \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\cdot\left(r_{тр\ зн}(h_{тр})\right)\right]$$

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \cdot \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\cdot\left(r_{тр\ зн}(h_{тр}).r\right)\right]$$

При $r = r_{тр\ вн}(h_{тр})$ одержимо значення радіальних стискаючих напружень на контакті трубчастої заготовки з пуансоном:

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \cdot \ln\left[R_{зн}(h)/R_{гр}(h)\cdot\left(r_{тр\ зн}(h_{тр}).\,/\,r_{тр\ вн}(h_{тр})\right)\right]$$

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \cdot \ln\left[\left(R_{зн}(h)\cdot\left(r_{тр\ зн}(h_{тр})\right)/\left(R_{гр}(h)r_{тр\ вн}(h_{тр})\right)\right)\right]$$

На ділянці трубчастої заготовки за межами контакту з кільцем розподіл радіальних стискаючих напружень в стінці заготовки описується рівням:

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \ln\left(r_{тр\ зн}(h_{тр}/r)\right).$$

При $r = r_{тр\ вн}(h_{тр})$ одержимо напруження на контатній поверхні пуансона і трубчастої заготовки:

$$\sigma_r = \beta\sigma_s \ln\left(r_{тр\ зн}(h_{тр})/r_{тр\ вн}(h_{тр})\right).$$

Значення радіальних стискаючих напружень на контактній поверхні пуансона слід використати для визначення тертя на контактній поверхні при розрахунку зусилля роздачі жорстким пуансоном. В подальшому розподіл напружень в осередку деформації можна уточнити, врахувавши деформаційне зміцнення на кожній ділянці і в різних перерізах трубчастої заготовки.

Висновки. У роботі вдосконалено процес роздачі для трубчастих деталей з важкодеформівних матеріалів. Запропоновано новий спосіб роздачі труб з важкодеформівних матеріалів. Результати чисельних розрахунків дозволяють отримати розподіл ресурсу пластичності, напружень, деформацій та інших параметрів процесу роздачі, що допоможе у подальшому вдосконаленню робочих інструментів та й процесу роздачі вцілому.

Список використаної літератури

1. Аверкиев Ю. А. Технология холодная штамповка. / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев. – М: Машиностроение, 1989. – С. 207 – 216.
2. Неперешин Р.И. Идеальные процессы обжима и раздачи толстостенных трубных заготовок // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давление, -2010, -№6-с 23-29
3. В. Л. Калюжний, Я. С. Олександренко Влияние угла матрицы на формообразование изделия при холодной раздаче трубчатых заготовок с действием давления жидкости на внутреннюю поверхность заготовки. Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2015. Випуск №49
4. Калюжний А.В. Интенсификация процесса раздачи осесимметричных трубчатых заготовок . Зборник обработка металов давлением, 2014. С. 103-108.
5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд. перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. 520 с.
6. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/ Под общ. ред. Л.И. Рудмана – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

УДК 621.7.044

М. К. Князєв, А. С. Серафімович
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків

ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ШТАМПУВАННЯ ТОНКОЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ В ФОРМІ СФЕРИЧНИХ СЕГМЕНТІВ

Робота присвячена розробці і оптимізації технології електрогідравлічного штампування (ЕГШ) листових деталей в формі сегменту сфери (радіусом 330 мм, глибиною 140 мм). Складність виготовлення таких деталей великого діаметру (530 мм) з тонкого листа (0,8–2 мм) полягає в утворенні гофрів на периферійній частині сфери на першому етапі формування. Цей ефект посилюється при витягуванні фланцевої частини заготовки, що призводить до збільшення окружних стискувальних напружень. При подальшому навантажені імпульсним тиском рідини гофри не вирівнюються, а створюють складки.

При традиційному штампуванні жорсткими інструментами «матриця-пуансон» проблему вирішують за рахунок розтягування матеріалу заготовки, для чого виключають витягування фланця за рахунок збільшення його ширини і підвищення зусилля притиску. Такий підхід потребує надмірних непродуктивних втрат листового матеріалу. Наприклад, зі стандартного листа розмірами 1250×2500 мм за традиційною технологією вирізали тільки три заготовки розмірами 800×800 мм. Хоча, навіть при наявності витягування фланця, розміри заготовки 625×625 мм були б достатніми, щоби відштампувати вісім деталей. Також традиційна технологія потребує двоходового гідравлічного пресу або пресу простої дії, але великої потужності, щоби забезпечити великі зусилля притиску і формування, і складного штампу з механізмами притиску.

Відома технологія ЕГШ деталей типу «днище», в яких присутні циліндричний елемент на периферії і перехідний донний радіус до сферичного сегменту великого радіусу. При штампуванні таких деталей спочатку формують периферійну частину з малим радіусом, що підвищує жорсткість листа і запобігає створенню гофрів [1]. Але такий підхід збільшує розміри заготовки і витрати листа, якщо деталлю є сферичний сегмент великого радіусу.

Апробовано технологію штампування сферичних сегментів з застосування бризантних вибухових речовин [2]. В штампі (матриці) кінцевої форми деталі укладали декілька плоских вставок з метою зменшення глибини витягування і запобігання гофрів. Операцію виконували за декілька переходів і після кожного переходу виймали одну вставку. При цьому між сферичною поверхнею матриці і плоскою поверхнею вставки формувався торовидний елемент малого радіусу. Але на кінцевій деталі були помітними відбитки цих елементів, що знижувало якість деталі в цілому.

Метою проведеного експериментального дослідження було зменшення втрат листового матеріалу і загальних витрат на виробництво таких деталей шляхом розробки і оптимізації технології електрогідравлічного штампування і відповідного штампового оснащення.

При формуванні стратегії ЕГШ сферичної деталі прийнято рішення про штампування за два переходи у дві матриці відповідної форми. Перша матриця має визначити проміжну форму заготовки близьку до напівтора, яку одержують за рахунок витягування фланця. Площа поверхні заготовки в порожнині матриці має бути на 3–5 % менше за площу кінцевої деталі, щоби калібрування виконувати з невеликим розтягуванням листа для забезпечення стійкості процесу. На другому переході виконується вивертання заготовки в матрицю кінцевої форми деталі з формуванням сферичної конфігурації (без витягування фланця) і калібрування. Для більш точного керування полями імпульсного навантаження застосовувати багатоелектродний розрядний блок спрямованої дії (БРБ).

Експериментальні дослідження показали необхідність оптимізації форми матриці першого технологічного переходу (рис. 1). Це пов’язано з втратою стійкості (гофроутворенням) заготовки над периферійною торовидною порожниною матриці (див. рис. 1-а) при її відносно великій ширині (≈ 250 мм). Гофри і хвилястість на периферії та дні напівтору виявлено при

товщині заготовки 0,8, 1,0, 1,2, 1,5 мм з вуглецевої сталі і 0,8, 1,0, 1,2, 1,5, 1,8, 2,0 мм з нержавіючої сталі феритного класу.

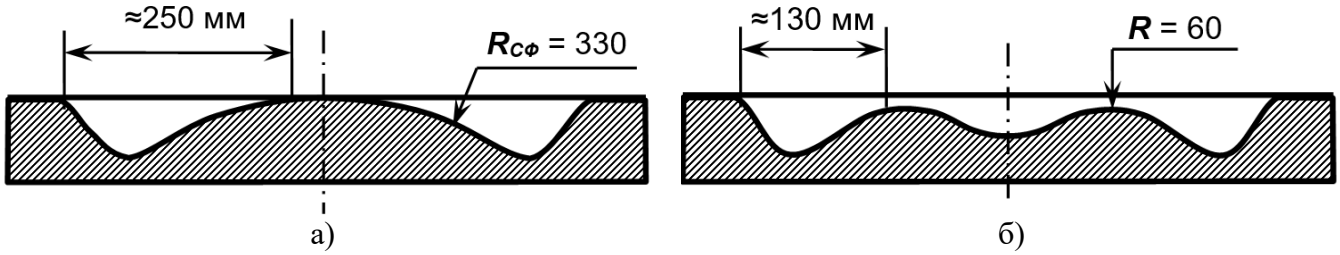


Рис. 1. Конструктивні схеми матриць, апробованих для першого технологічного переходу: а – зі сферичним центральним елементом; б – з тороїдальним центральним виступом

Модифікація порожнини матриці (див. рис. 1-б) шляхом створення торовидної виступаючої поверхні з чашкою по осі матриці дозволила значно зменшити ширину периферійної торовидної порожнини матриці (≈ 130 мм), що поліпшило стійкість заготовки до гофроутворення. Така матриця дозволила одержувати якісний напівфабрикат при товщині листа 1,5 мм і більше з вуглецевої сталі і 1,8 мм і більше з нержавіючої сталі.

Треба відзначити, що центральну чашку в матриці (див. рис. 1-б) запроектовано з метою дотримання умови площі поверхні заготовки після першого переходу. Але при тестування виявилося, що цей елемент сприяє появі і розвитку гофрів на провисаючій периферійній частині заготовки за рахунок підтягування матеріалу заготовки до центральної зони і підвищення окружних стискувальних напружень на периферії. В подальшому цю чашку заповнювали вставкою з твердої гуми, що значно знизило схильність до гофроутворення, але зменшило площу поверхні заготовки після першого переходу приблизно на 10 % у порівнянні з площею кінцевої деталі. Тому штампування у другу матрицю (кінцевої форми) потребувало додаткових плоских вставок, щоби запобігти утворенню гофрів і складок.

Для вирішення проблеми штампування з тонких листів (0,5–1,2 мм) запропоновано і апробовано той же спосіб формування напівторової конфігурації, але меншої глибини та ширини (приблизно 70 мм). Менша ширина підвищила жорсткість заготовки на цій ділянці і спротив до гофроутворення. Напівтор меншої глибини формували за допомогою сталевої кільцевої вставки, центральної вставки з гуми і облицювання зі сталевого листа товщиною 2,0 мм (рис. 2-а). Аналогічний підхід був застосований в нашій попередній роботі [3].

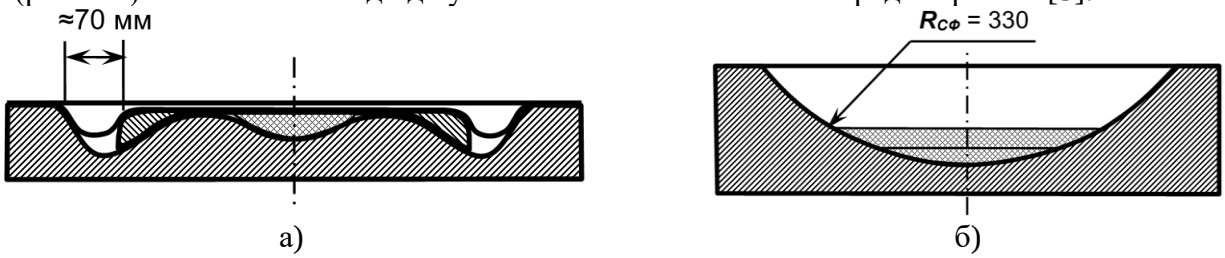


Рис. 2. Конструктивні схеми (а) матриці першого технологічного переходу зі вставками для тонких заготовок і (б) матриці кінцевої форми деталі зі вставками

Таким чином, для тонкого листа технологія ЕГШ включала два переходи, які виконували у першу матрицю зі вставками (див. рис. 2-а) і без них (див. рис. 1-б), і три або чотири переходи, які виконували у другу матрицю з різною кількістю вставок (рис. 2-б). Кількість переходів у другу матрицю визначалася товщиною і властивостями матеріалу заготовки, тобто його спроможністю опиратися гофроутворенню. Тому найбільшу кількість переходів застосовано для заготовок товщиною 0,8 і 1,0 мм з нержавіючої сталі феритного класу. Підвищити продуктивність процесу вдалося за рахунок застосування способу пакетного штампування (по дві заготовки) для товщини 0,8–1,2 мм. Але штампування в першій матриці без вставок (див. рис. 1-б) і калібрування у другій матриці без вставок (див. рис. 2-б) виконували по одній заготовці для зменшення зносу електродів і забезпечення точності виробу.

За результатами тестів з пакетного штампування заготовок однакової товщини встановлено, що пакет з двох заготовок не є рівним за жорсткістю до однією заготовки

подвійної товщини. При пакетному штампування спроможність опиратися гофроутворенню визначається товщиною одного листа.

Листові деталі більшої товщини виготовляли за два технологічних переходи у дві матриці без вставок (див. рис. 1-б і 2-б). Для вуглецевої сталі 20 таким граничним значенням була товщина 1,5 мм, а для нержавіючої сталі феритного класу – 1,8 мм.

Гарні показники продуктивності і якості виробів показав спосіб пакетного штампування з комбінацією заготовок різної товщини. Встановлено, що спроможність такого пакету опиратися гофроутворенню визначається листом з найбільшою товщиною.

Результати експериментального дослідження ще раз довели високі технологічні можливості обладнання з багатоелектродними розрядними системами спрямованої дії [4], в тому числі високу керованість полів тиску шляхом підключення ізольованих електродів в потрібній конфігурації. Так, на перших переходах при штампуванні в першу матрицю навантаження виконували за допомогою дванадцяти електродів, розташованих на діаметрах 360 і 420 мм в установці УЕГШ-2, що повністю відповідало геометрії потрібної зони навантаження при формуванні торовидної конфігурації заготовки. При цьому центральна зона, яка не потребувала деформування, практично не піддавалась навантаженню. Треба зазначити, що збій в роботі хоча би одного електроду (пробій ізолятора, надмірний знос) негативно відбивався на стійкості процесу: з'являлися гофри та хвилястість на заготовці під пошкодженим електродом.

Для виконання технологічних переходів у другу матрицю додатково підключали ще шість електродів, розташованих на діаметрі 200 мм. Це забезпечувало правильне вивертання заготовки, витискування повітря з порожнини матриці, попереджувало зворотне випинання заготовки, рівномірний тиск високої інтенсивності по всій поверхні заготовки на переході калібрування кінцевої форми.

Як показали результати тестів проміжна торовидна форма є дуже корисною для забезпечення якості тонколистових деталей у формі сегмента сфери. Попередні дослідження доводять, що проміжна торовидна форма дозволяє одержувати гарні результати при ЕГШ конусів повних і усічених форм, класичних днищ для сосудів високого тиску, власне напівторів круглого [3] і прямокутного [5] перетину та інших геометричних форм.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Технологія ЕГШ є гнучкою технологією за умови застосування БРБ і вставок до штампів.
2. Застосування багатоперехідного ЕГШ є економічно вигідним для серійного виробництва високоточних і якісних деталей. Так, виготовлення додаткового штампу перехідної торовидної форми було компенсовано більш прогресивним розкроєм листа при виробництві приблизно 200 сферичних сегментів.
3. Торовидна проміжна конфігурація заготовки є універсальною для деталей типів днище, сферичний сегмент, рефлектор, конус, напівтори з перетинами різних форм, напівпатрубки.
4. Розрядна багатоелектродна система підтвердила високу ефективність для ЕГШ сферичних сегментів завдяки високої керованості полем імпульсного навантаження.
5. Моделювання процесів ЕГШ з застосуванням критерію втрати стійкості листовою заготовкою (появи гофрів) є сучасною важливою науковою задачею.

Список використаних джерел

1. Чебанов Ю. И., Тараненко М. Е., Шипилов Ю. В. Управление энергосиловыми потоками и процессами пластического формоизменения заготовок при ЭГШ // Кузнечно-штампов. пр-во, 1984, № 8, с. 2–5.
2. Штамповка взрывом / Под ред. М. А. Анучина. – М.: Машиностроение, 1972. – 149 с.
3. Князев М. К., Варнас Р. В. , Беспалый В. Ю. Отладка процессов электрогидравлической штамповки в системе технологической подготовки производства // Авіаційно-космічна техніка і технологія : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – Х., 2011. – № 7(84). – С. 104–108.
4. Knyazyev M. K., Chebanov Yu. I. Multi-Electrode Discharge Blocks for Electrohydraulic Forming and their Capabilities // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2004, № 3(9). – С. 13–20.
5. Князев М. К. Электрогидроимпульсная штамповка торообразных листовых деталей // Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти : IV міжнар. наук.-техн. конф. : тези доп. / М-во освіти і науки України, Нац. технічний ун-т «Київський політехн. ін-т». – Київ, 2013. – С. 15–18.

УДК 621.7.011

О.В. Грушко, О.В. Гуцалюк
Вінницький національний технічний університет України, м. Вінниця.

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ПРОЦЕСАХ ВІСЕСИМЕТРИЧНОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

В світі існує тенденція на зменшення затрат людських та енергетичних ресурсів в процесах формозміни шляхом поглибленого аналізу результатів моделювання конкретних процесів. Це дає можливість уникати формування бракувальних ознак, збільшувати ресурс інструменту, покращувати якісні характеристики готового виробу. Одним з маловивчених аспектів являються ділянки неусталеності процесу для заготовок з обмеженою довжиною [1]. Необхідність вивчення та аналізу даних ділянок зумовлена тим, що в світі почали активно використовувати в конструкційних виробах деталі на основі порошкових матеріалів. Виготовлення деталей на основі порошкових сплавів таких як W-Ni-Fe можливе з забезпеченням необхідних механічних характеристик, однак заготовки з вищевказаного сплаву мають відносно невеликі відношення висота-діаметр, що і зумовило дослідження в даному напрямку [2]. В роботі [3] представлені результати комп'ютерного моделювання методами математичного скінченно-елементного моделювання, метою якого було дослідження напруженого стану в процесах вісесиметричного пластичного деформування у вигляді контактних напружень, головних напружень, інтенсивності напружень при змінних значеннях величини відносного обтиску та кута нахилу робочого інструменту. Розрахункова схема та залежність максимальних головних нормальних напружень від величини відносного обтиску на прикладі вісесиметричного процесу редукування зображені на рис. 1. Проте, ці результати стосуються лише розрахунків для порошкового сплаву W-Ni-Fe, з дослідженою реологією [2]. Крива течії сплаву W-Ni-Fe описується з високою точністю залежністю $\sigma_i = A\varepsilon_i^n = 1730\varepsilon_i^{0,259}$. Поширення наявних результатів дослідження напруженого стану для матеріалів з іншими властивостями представляє науково-практичний інтерес в відповідних випадках.

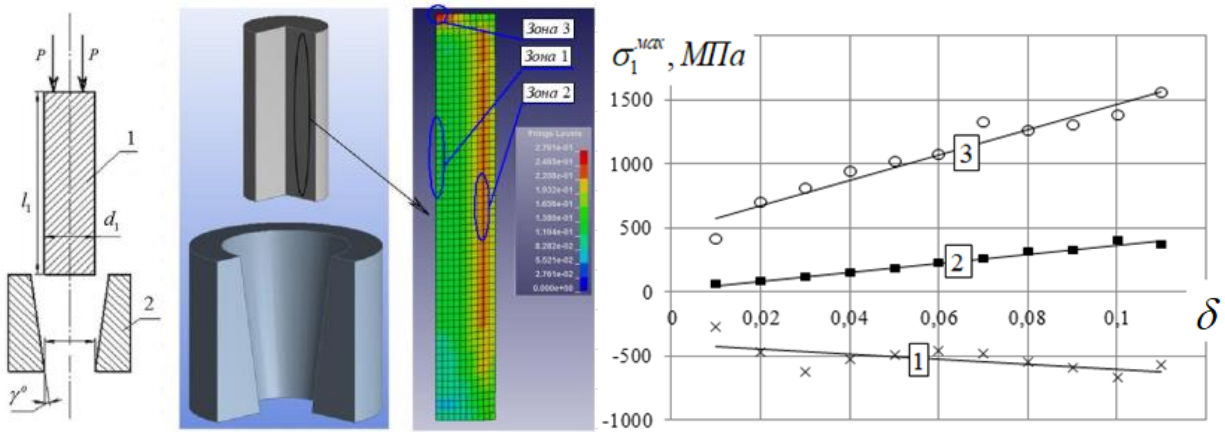
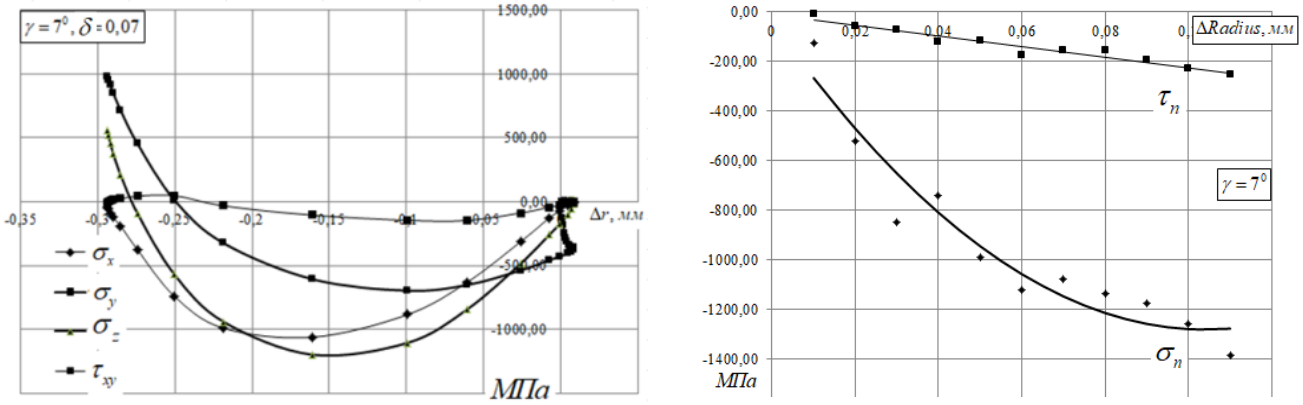


Рис.1. Залежність максимальних головних нормальних напружень від величини відносного обтиску

З рис. 1 видно, що в зонах 2 і 3 спостерігаються розтягувальні напруження, які можуть стати причиною руйнування.

Для оцінки механіки процесу редукування розглянемо також компоненти тензора напружень в контактній області, а також значення максимальних контактних напружень по контуру матриці (рис. 2).



а) б)

Рис. 2. Зміна величини компонент тензора напружень σ_z, σ_ρ, σ_φ, $\tau_{\rho z}$ в контактній області (а) та значення максимальних контактних напружень по контуру матриці для процесу редукування з кутом нахилу матриці $\gamma=7^0$ (б).

Вивчення особливостей процесу редукування на основі матеріалу W-Ni-Fe дає можливість забезпечити реалізацію процесу з необхідними якісними характеристиками виробу. Для більш широкого використання матеріалів досліджень варто використати підходи роботи [2], згідно з якими матеріали з подібною реологією повторного моделювання не потребують. Необхідні значення величин напружень та зусиль можуть бути отримані шляхом математичного перерахунку. Для нашого випадку вісесиметричного процесу формули роботи [4] будуть мати вигляд:

$$\sigma'_{cp} = \sigma_{cp}\frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_{cp}\frac{A'}{1730^{3,861n'}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (1)$$

$$\sigma'_{\varphi} = \sigma_{\varphi}\frac{A'}{1730^{3,861n'}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (2)$$

$$\sigma'_z = \sigma_z\frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_z\frac{A'}{1730^{3,861n'}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (3)$$

$$\sigma'_r = \sigma_{\rho}\frac{A'}{1730^{3,861n'}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (4)$$

$$\tau'_{rz} = \tau'_{zr} = \tau_{rz}\frac{A'}{1730^{(3,861n')}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (5)$$

$$\sigma'_n = \sigma_n\frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_n\frac{A'}{1730^{(3,861n')}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (6)$$

$$\tau'_n = \tau_n\frac{A'}{1730^{(3,861n')}}\sigma_i^{(3,861n'-1)}; \quad (7)$$

$$F' = F_1\frac{A'}{A_1}\left[\frac{F_2A_1}{F_1A_2}\right]^{\frac{n'-n_1}{n_2-n_1}}; \quad (8)$$

$$\tau_{\rho\theta} = \tau_{\theta\rho} = \tau_{z\theta} = \tau_{\theta z} = 0, \quad (9)$$

де, $\sigma_i(\sigma'_i)$- інтенсивність напружень модельного (натурного) матеріалу, ε_i - інтенсивність деформацій, A' та n' –коефіцієнти апроксимації для натурного матеріалу, $\sigma_{cp}(\sigma'_{cp})$- середнє напруження модельного (натурного) матеріалу, $\sigma_{\varphi}(\sigma'_{\varphi})$- нормальні тангенціальні напруження в циліндричній системі координат для модельного (натурного) матеріалу, $\sigma_z(\sigma'_z)$- нормальні осьові напруження в циліндричній системі координат для модельного (натурного) матеріалу, $\sigma_r(\sigma'_r)$- нормальні радіальні напруження в циліндричній системі координат для модельного (натурного) матеріалу, $\tau'_{rz}, \tau'_{zr}, \tau_{rz}$- відповідно дотичні

напруження для модельного та натурного матеріалу , σ_n (σ'_n)- нормальні контактні напруження модельного (натурного) матеріалу, τ_n (τ'_n)- дотичні контактні напруження для модельного (натурного) матеріалу, $\tau_{\rho\theta}, \tau_{\theta\rho}, \tau_{z\theta}, \tau_{\theta z}$ - дотичні напруження в циліндричній системі координат.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок:

Отримані залежності (1-9) дозволяють здійснити перерахунок необхідних величин для матеріалів з подібною реологією, що розширює область застосування отриманих результатів для розрахунку технологічних параметрів процесу редукування заготовки з різних конструкційних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Зайдес С.А., Исаев А.Н. Технологическая механика осесиметрического деформирования. Монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ 2007, - 432с.
2. Грушко О.В. Механічні характеристики сплавів системи W-NI-FE / Грушко О.В., Гуцалюк О.В., Андреєв І.В., Мельниченко В.В., Студенець С.Ф.; - Фізико-механічний інститут ім.. Г.В.Карпенка НАН України: Фізико-хімічна механіка матеріалів,2018. – 143с.
3. Грушко О.В. Моделювання процесу редукування циліндричних заготовок з визначенням основних параметрів деформованого стану/ О. В. Грушко,О. В. Гуцалюк// Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА,. – 2016. – № 1(42). – С. 57–62.
4. Грушко А. В. Метод эквивалентной оценки энергосиловых параметров процессов пластического формоизменения / А. В. Грушко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 47. – С. 14–23.

УДК 621.771.014

М.Н. Штода, О.П. Максименко
Днепровский государственный технический университет, г. Каменское, e-mail: maksshtoda@gmail.com

УШИРЕНИЕ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ С НАТЯЖЕНИЕМ В СИСТЕМЕ ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ «ОВАЛ - КРУГ»

Используемые в настоящее время методы расчета формоизменения металла при сортовой прокатке в большинстве своем не учитывают влияния натяжения (подпора) на заполнение калибров металлом. Среди учитывающих особенности непрерывной прокатки наибольшее распространение получила формула для расчета абсолютного уширения, предложенная А.И. Целиковым и А.И. Гришковым [1]. Однако данная методика имеет существенный недостаток, так как не учитывает влияние подпора и переднего натяжения и разработана для прокатки плоской продукции.

В работе [2] авторы сделали попытку исправить этот недостаток введя в формулу для расчета абсолютного уширения в условиях непрерывной прокатки коэффициент, учитывающий влияние силы натяжения и подпора. Однако и этот метод недостаточно точен для условий сортовой прокатки, так как разработан на основе формул для расчета уширения при прокатке плоской продукции.

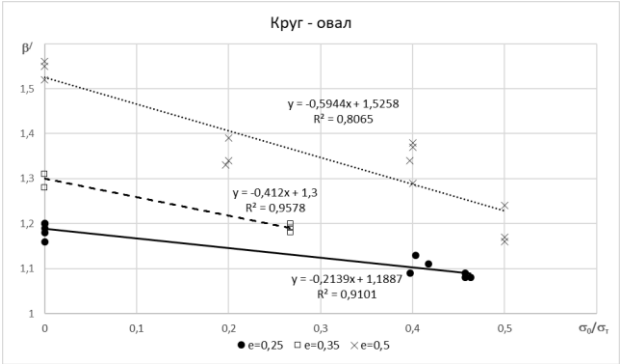
В работе [3] разработана математическая модель, позволяющая определить заполнение круглых и овальных калибров металлом с учетом натяжения (подпора). Модель основана на вариационных принципах решения задач ОМД, но имеет ряд недостатков, связанных с допущениями при выводе основных уравнений модели. Главный недостаток – это рассмотрение сплошного профиля (овального или круглого) как предельное деформированное состояние толстостенной трубы, то есть при отсутствии оправки. Такой подход неизбежно приводит к ряду ошибок, хотя бы потому что, как справедливо отмечает сам автор [3, стр. 203]: «В отличие от овальных трубных калибров сортовые являются значительно более плоскими…»

Отсюда видно, что даже такой простой для изучения и важный с практической и теоретической точки зрения вопрос, как уширение при непрерывной прокатке в калибрах, все еще остается малоизученным и трудно прогнозируемым.

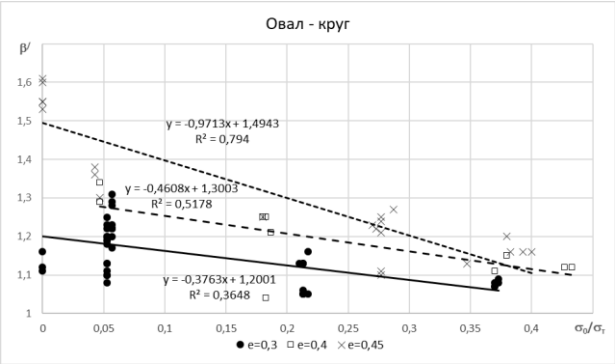
Цель данной работы является изучение уширения при прокатке в овальных и круглых калибрах при различных значениях заднего и переднего напряжения натяжения.

Исследование проводили на лабораторном стане с диаметром валков 210 мм в круглом калибре для прокатки катанки диаметром 5 мм с шириной калибра 5,66 мм и овальном калибре с глубиной вреза 1,75 мм и шириной 8,8 мм. В качестве заготовки использовали свинцовые овальные (высота 3,5…5,5 мм, ширина 5,5…10,5 мм) и круглые полосы (диаметром 5…7,5 мм). Для создания заднего и переднего натяжения использовали грузо-блочный механизм, устанавливаемый на входной и выходной стороне стана.

При прокатке в овальных и круглых калибрах полос только с задним натяжением, с увеличением натяжения раската между клетями коэффициент уширения уменьшается (рис. 1). С увеличением относительного обжатия по вершине калибра степень влияния заднего натяжения на коэффициент уширения увеличивается (рис. 1). При проведении исследований максимальное относительное обжатие составляло 0,4-0,5, что соответствует обжатиям, применяемым на практике.



а)



б)

Рис. 1. Графики зависимости коэффициента уширения от относительного напряжения заднего натяжения при прокатке круглых полос в овальном калибре (а) и овальных полос в круглом калибре (б)

При прокатке круглых полос в овальных калибрах с передним натяжением и при относительном обжатии ε=0,25-0,35 (рис. 2) увеличение напряжения переднего натяжения практически не влияет на коэффициент уширения. При прокатке с относительным обжатием ε=0,5 (рис. 2) увеличение относительного переднего натяжения $\sigma_1/\sigma_т$ до 0,3 приводит к существенному увеличению коэффициента уширения (с 1,3 до 1,6), а дальнейшее увеличение натяжения до $\sigma_1/\sigma_т$ = 0,6 приводит к снижению коэффициента уширения до 1,35.

При прокатке овальных полос в круглых калибрах с передним натяжением и при относительном обжатии ε=0,2-0,3 (рис. 3) увеличение напряжения переднего натяжения приводит к увеличению коэффициента уширения. При прокатке с относительным обжатием ε=0,45 (рис. 3) увеличение переднего натяжения приводит к снижению коэффициента уширения. В случае прокатки овальных полос с передним натяжением и при ε=0,45 увеличение переднего натяжения вызывает снижение коэффициента трения (рис. 3).

Как видно из рис. 4 совместное приложение переднего и заднего натяжения на прокатываемую полосу приводит к снижению коэффициента уширения как при прокатке в овальных, так и при прокатке в круглых калибрах.

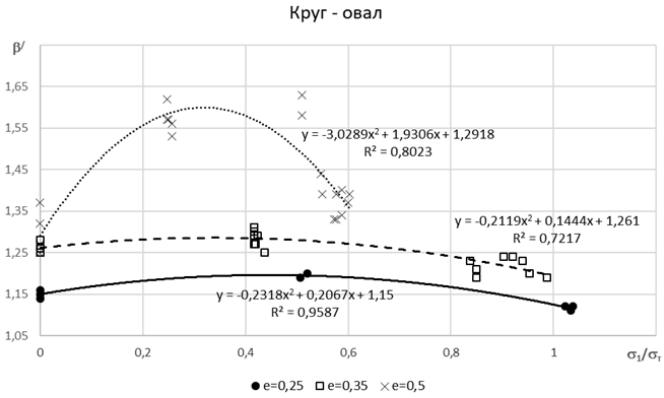


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента уширения от относительного напряжения переднего натяжения при прокатке круглых полос в овальном калибре

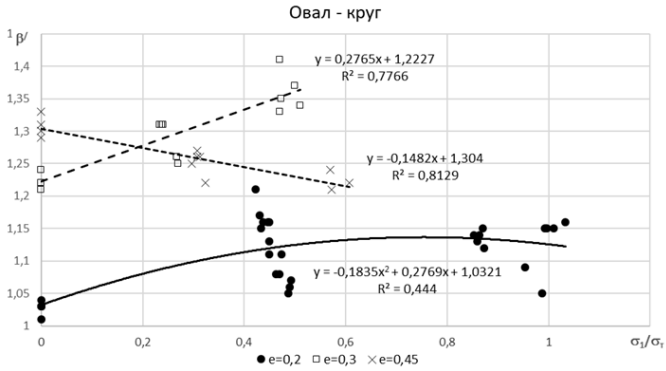
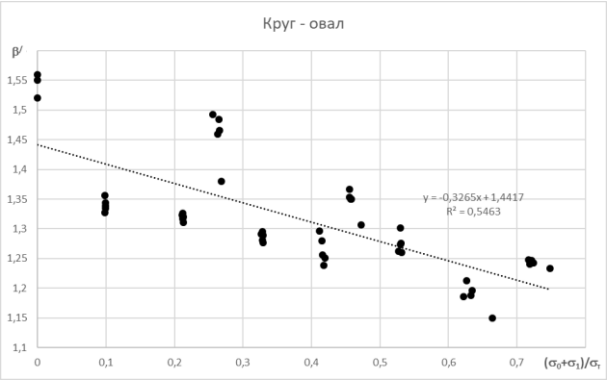
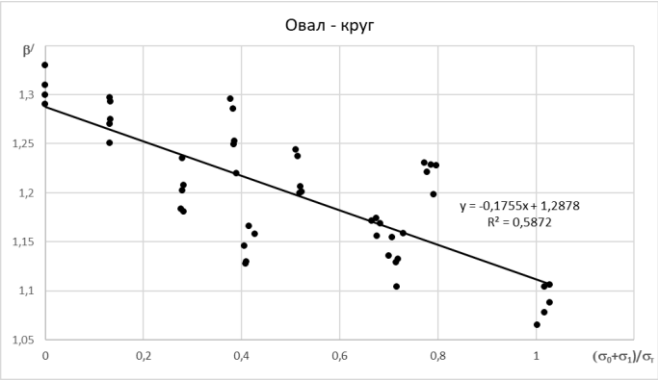


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента уширения от относительного напряжения переднего натяжения при прокатке овальных полос в круглом калибре



а)



б)

Рис. 4. Графики зависимости коэффициента уширения от относительного напряжения переднего и заднего натяжения при прокатке круглых полос в овальном калибре (а) и овальных полос в круглом калибре (б)

Результаты экспериментальных исследований деформированного состояния металла при прокатке круглых полос в овальных калибрах и овальных полос в круглых калибрах с передним и задним натяжением могут быть использованы при расчетах ширины полосы в процессе непрерывной прокатки в системе вытяжных калибров «овал – круг».

Список использованной литературы:

1. Целиков А.И., Гришков А.И. Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1970. – 359 с.
2. Бахтинов Ю.Б., Тарасевич Ю.Ф., Пименов А.Ф. К учету влияния межклетьевых сил на величину уширения при непрерывной прокатке // Производство проката. – 2007. – № 10. – С. 2-4.
3. Онищенко И.И., Куценко П.И., Куценко А.И. Теория непрерывной прокатки. – Запорожье: Изд-во ЗГИА, 1998. – 470 с.

УДК 621.7

В.А. Тітов, О.С. Рехта
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м.Київ, Україна

ФОРМОУТВОРЕННЯ КОРОБЧАСТОГО ВИРОБУ З ПОХИЛИМИ СТІНКАМИ В ІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВА ТИСКОМ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Використання надпластичних властивостей полікристалічних матеріалів дозволяє отримувати деформації подовження без руйнування, які можуть перевищувати 1000%. Також в цьому стані можна деформувати малопластичні матеріали.

Метою роботи є визначення закономірностей ізотермічного формоутворення коробчастої деталі з різними кутами нахилу стінок з титанового сплаву в умовах в’язкопластичного деформування.

Виконано чисельне моделювання процесу формоутворення коробчастої деталі з похилими стінками при різному тиску формуючого середовища.

Оцінка напружено-деформованого стану матеріалу заготовки та енергосилових параметрів процесу здійснювалася в середовищі CAD/CAE DEFORM-3D.

Для чисельного моделювання обраний аналог титанового сплаву ВТ6 – Ti-6Al-4V, хімічний склад якого показаний в табл.1. Розміри готової деталі показані на рис.1. Розміри заготовки 207*195 мм, товщина 1 мм. Сітку заготовки згенеровано з 235000 елементів. Коефіцієнт тертя між заготовкою і стінками матриці 0.3. Радіус вхідної кромки матриці 6 мм. радіус між стінками матриці змінюється від 25 мм на вході матриці до 10 мм на дні. Радіус між стінками і дном 18 мм. глибина матриці 60 мм. процес ізотермічний і здійснюється при температурі 925^{0}С. Моделювання виконане для двох заготовок при тиску 0.3 МПа і 0.5 МПа.

Таблиця 1

Хімічний склад у % матеріалу ВТ6

Елемент	Fe	C	Si	V	N	Ti	Al	Zr	O	H	Домішки
Масова частка	до 0.3	до 0.1	до 0.15	3.5-5.3	до 0.05	86.485-91.2	5.3-6.8	до 0.3	до 0.2	до 0.015	інші 0.3

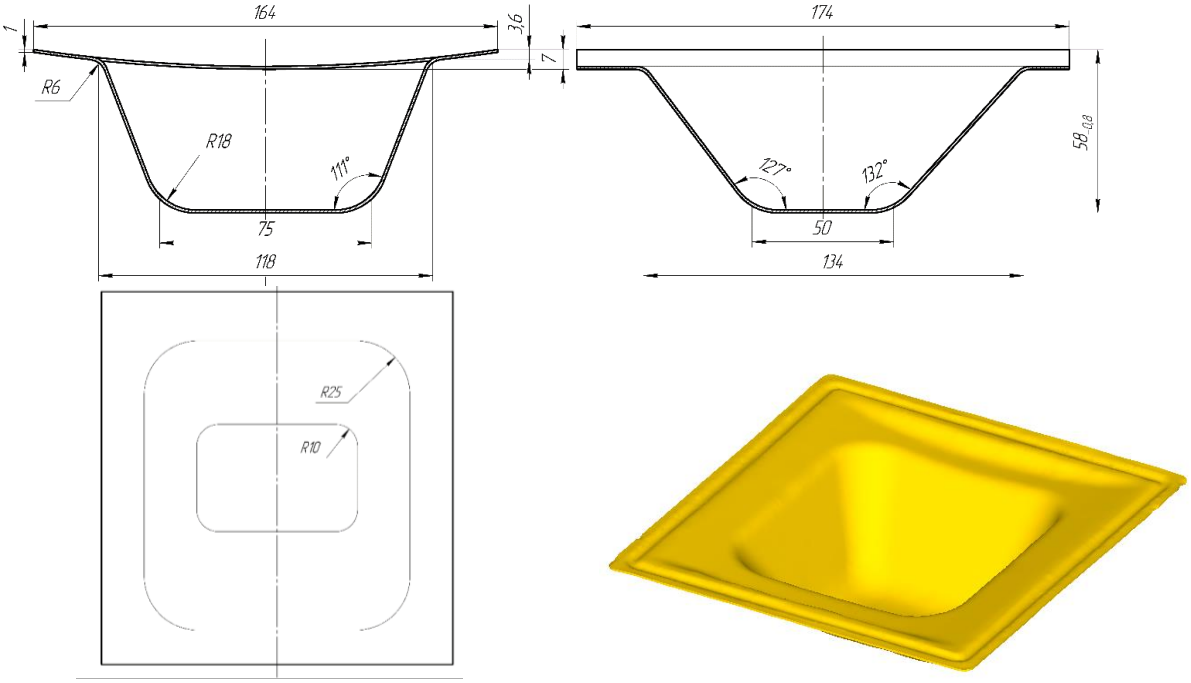
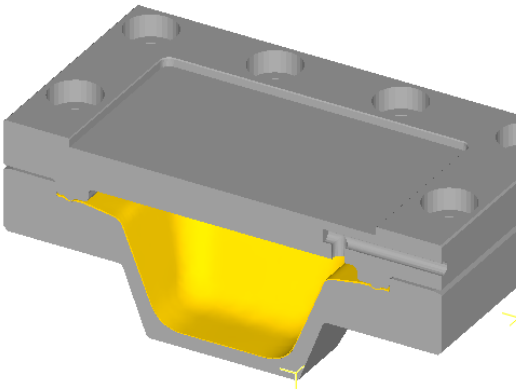


Рис. 1. Розміри деталі

Вигляд готової деталі в оснащенні показано на рис.2. Деталь була сформована тиском 0.3 МПа за 415 секунд, а тиском 0.5 МПа за 300 секунд. Графіки залежності переміщення заготовки від часу для деталей сформованих тиском 0.3 МПа і 0.5 МПа показані на рис.3.



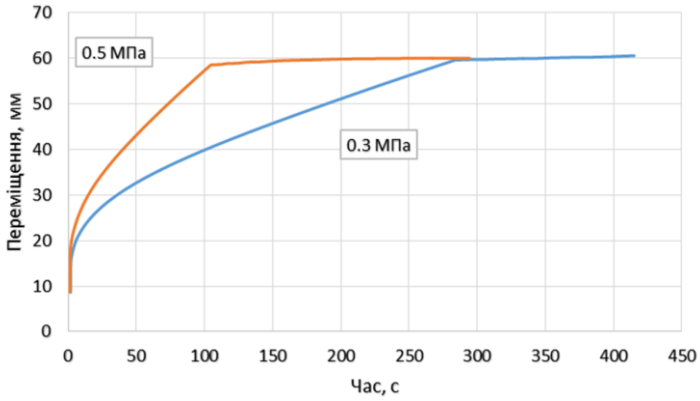


Рис. 2. Вигляд готової деталі в оснащенні

Рис.3. Залежность переміщення від часу для деталей сформованих тиском 0.3 МПа і 0.5 МПа

Результати моделювання показують, що величина деформації матеріалу заготовки в деталі, сформованій тиском 0.3 МПа, менша ніж у деталі сформованій тиском 0.5 МПа. В обох деталях найбільші деформації спостерігаються на стінках з кутами 111^0, що починаються з вхідного радіусу матриці. Найменші деформації в обох деталях на стінці з кутом 132^0. Найбільші деформації матеріалу в деталях на дні матриці в кутах переходу між стінками з кута 111^0 та 127^0. Найменша товщина матеріалу в деталі сформованій тиском 0.3 МПа – 0.182 мм і в деталі сформованій тиском 0.5 МПа – 0.173 мм.

Також результати показують, що при тиску 0.3 МПа матеріал більше деформується на вхідному радіусі матриці. Це може бути пов’язаним з меншою швидкістю переміщення і пізнішим часом контакту матеріалу зі стінками матриці, що дозволяє ефективніше використати ресурс пластичності і деформувати більший об’єм матеріалу по периметру матриці порівняно зі зразком сформованим тиском 0.5 МПа. Варто також зазначити, що в зразку сформованому тиском 0.5 МПа спостерігаються більші значення деформації в кутах між стінками. Застосування різного тиску під час формоутворення деталі може підвищити однорідність розподілу матеріалу в готовому виробі та скоротити тривалість його виготовлення. Найоптимальнішим буде варіант задання тиску 0.3 МПа до того як вершина заготовки торкнеться матриці, що відбувається на 300 секунді і подальше формування здійснювати тиском 0.5 МПа.

Висновки

Виконано моделювання формоутворення коробчастої деталі з похилими стінками в умовах надпластичності матеріалу. Результати моделювання підтвердили можливість виготовлення даної деталі в заданому інтервалі тиску і температури.

Також на підставі результатів моделювання можна оцінити величину деформації в різних ділянках деталі обумовлених геометрією інструменту, тертям і швидкістю деформації та вибрати оптимальні для забезпечення однорідності товщини матеріалу в готовій деталі.

Використані джерела інформації

Elastic & thermal data from DEFORM material library.

УДК 629.078

І.А. Шатохіна
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ВИБІР МОДЕЛІ ОБСТЕЖЕННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ

Для досягнення точності моделювання сучасні програмні пакети використовують багатовимірні моделі кожного елементу транспортної системи. Основним критерієм вибору тієї чи іншої моделі служить відповідність результатів розрахунків реальним характеристикам об'єкта, що не дає гарантій правильного прогнозу при розгляді сценаріїв його розвитку. Крім цього, для таких методик характерна відсутність єдиних критеріїв оцінки якості отриманих рішень. Такий підхід не може вважатися доцільним, особливо при розгляді таких значних об'єктів, як маршрутні мережі великих міст.

Для моделювання пасажиропотоків однією з необхідних умов є визначення матриці трудових кореспонденцій. Даний етап моделювання найкраще виконати використовуючи гравітаційну модель

Гравітаційні моделі отримали таку назву внаслідок того, що вони аналогічні закону гравітаційного тяжіння. У них величини кореспонденцій прямо пропорційні об'ємам відправлень з одного транспортного району і прибуття в іншій, і обернено пропорційні відстані між цими районами.

Традиційна і найбільш поширена гравітаційна модель побудована на підставі наступної гіпотези

$$b_{ij} = K \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot f(c), \tag{1}$$

де b_{ij} – потенційні кореспонденції між районами і та j;
K – калібрувальний коефіцієнт;
HO_i – об'єм виїзду з району і, пас.;
HP_j – об'єм прибуття в район j, пас.;
і – номер району зародження кореспонденції, од.;
j – номер району завершення кореспонденції, од.

При цьому повинні виконуватися також наступні обмеження, які забезпечують умову збалансованості матриці кореспонденцій

$$\sum_{j=1}^{n} h_{ij} = HO_i, i = \overline{1,n} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} h_{ij} = HP_j, j = \overline{1,n}, \tag{3}$$

де n – кількість транспортних районів, од.

Визначення розрахункових кореспонденцій між транспортними районами виконується на основі наступного співвідношення

$$h_{ijk} = \frac{HO_i \cdot HP_{jk} \cdot k_{ijk} \cdot d_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} (HP_{jk} \cdot k_{ijk} \cdot d_{ij})}, \quad (4)$$

де h_{ijk} – розрахункові кореспонденції між районами і та j, пас.;

d_{ij} – функція тяжіння між районами і та j;

k_{ijk} – вирівнюючий коефіцієнт тяжіння поїздок з району і в j.

До переваг традиційної гравітаційної моделі можна віднести доступність початкової інформації і простоту виконання розрахунків. Як недолік слід зазначити те, що існуючий варіант реалізації не є суворо обґрунтованим з математичної точки зору, оскільки розрахункова формула тільки відображає загальні зв'язки між параметрами моделі, але не гарантує повної аналогії кореспонденцій між транспортними районами міста і силою взаємного тяжіння фізичних тіл.

Кінцева мета моделювання – ухвалення рішення, яке повинне бути вироблене на основі всебічного аналізу отриманих результатів. Цей етап вирішальний – або необхідно продовжити дослідження, або закінчити.

Для досягнення високої ефективності роботи маршрутного пасажирського транспорту у містах, при їх формуванні необхідно використання досконалих програмних пакетів моделювання, які дозволяють врахувати особливості функціонування маршрутної мережі в українських містах та приймати зважені рішення за допомогою об'єктивного критерію ефективності.

Інструментами моніторингу повинні бути:

- обстеження різних елементів транспортного процесу за допомогою професійно підготовлених обліковців, телеапаратури та засобів автоматизованого обліку, встановлених на маршрутних транспортних засобах;
- фіксування методом моментних спостережень стану маршрутних перевезень, комунікацій різних видів транспорту і транспортної мережі за допомогою пересувних лабораторій;
- дослідження поведінки пасажирів в транспортній системі за допомогою методу фіксації виявленого вибору і соціологічних опитувань;
- документовані звіти транспортних підприємств про виконану на маршрутах роботі.

Обсяг і спосіб отримання основних характеристик роботи міської маршрутної системи, які повинні складати основу бази даних про маршрутної системі:

1. Ємності зупиночних пунктів, інтенсивність підходу пасажирів і час очікування транспорту - виходять за допомогою спеціальних обстежень силами обліковців або за допомогою телеапаратури.
2. Техніко-експлуатаційні показники роботи маршрутів - обстеження проводитися табличним методом обліковцями або засобами автоматизованого обліку, за допомогою пересувної лабораторії.
3. Пасажиропотоки на ділянках маршрутної мережі і інтервали руху на маршрутах обстежується візуальним методом обліковцями або за допомогою телеапаратури.
4. Можливість вибору пасажирами шляхів слідування - методом фіксації фактичного вибору.

Список використаних джерел

1. Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. - М.: Транспорт, 1974, 103 с.
2. Доля В.К. Організація пасажирських перевезень у містах. Х.: Нове слово 2002. – 140с.
3. Грановський Б.І. Моделювання пасажирських потоків в транспортних системах // Підсумки науки і техніки «Автомобільний і міський транспорт». - Том 11. - М.: Изд-во ВІНІТІ, 1986, с. 67-105.

УДК 657, 656.02

С.В. Якименко
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНА ФУНКЦІЯ МАРКЕТИНГУ НА ТРАНСПОРТІ

У рамках реалізації дослідницько-аналітичної функції маркетинговий підрозділ на транспортному підприємстві формує і забезпечує функціонування маркетингової інформаційної системи (МІС). МІС - це сукупність взаємозалежних елементів (фахівців, обладнання, методів та прийомів, що використовуються), взаємодіючих заради досягнення єдиної мети - надання менеджерам актуальної і точної інформації для прийняття управлінських рішень. Ці рішення можуть носити як маркетинговий характер, і тоді одержувачами інформації є менеджери по маркетингу, так і немаркетинговий характер, тоді одержувачами інформації є керівники підприємства. [1].

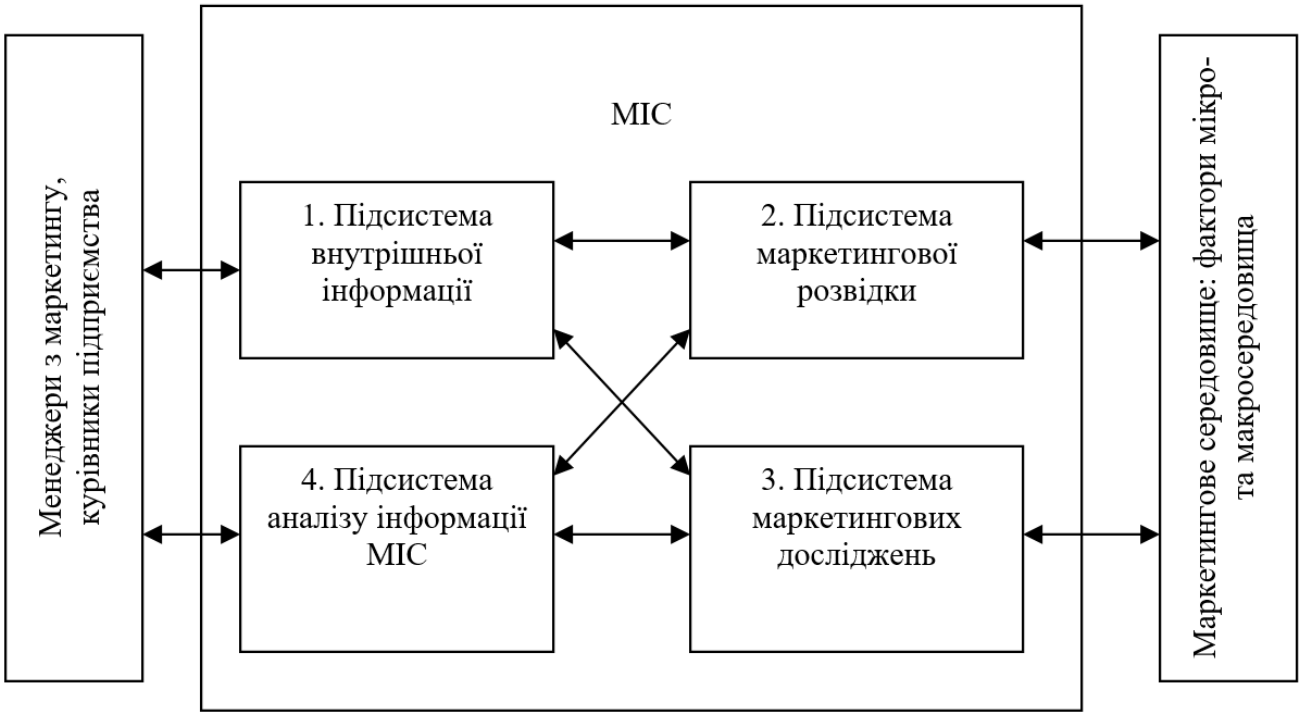


Рис1. Маркетингова інформаційна система

Як видно на рис. 1, у складі МІС виділяють підсистеми внутрішньої інформації, маркетингової розвідки, маркетингових досліджень і аналізу інформації МІС.

1. Підсистема внутрішньої інформації припускає збір інформації, що формується на самому підприємстві й утримується у внутрішніх джерелах. До внутрішніх джерел інформації відносяться, наприклад, дані бухгалтерського обліку і звітності, дані податкового обліку, дані управлінського обліку, ділова переписка, претензії і скарги, що надійшли від клієнтів, та ін. Основною перевагою внутрішньої інформації - простота її одержання і як наслідок невеликі витрати на це. Але у внутрішньої інформації є істотний мінус - неповнота інформації для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

2. Підсистема маркетингової розвідки спрямована на збір поточної інформації про маркетингове середовище без проведення спеціального маркетингового дослідження. Основними джерелами такого роду інформації є статистичні збірники, довідники, періодичні

видання. До джерел поточної зовнішньої інформації, яку можна одержати в готовому вигляді, відносяться, безумовно, співробітники підприємства, кожен з яких формально або неформально спілкується з різними суб'єктами ринку - клієнтами, постачальниками, конкурентами, агентами, експедиторами, консультантами, організаторами і відвідувачами виставок. Задача маркетолога полягає в тому, щоб організувати збір поточної інформації, зацікавити співробітників у сприянні підсистемі маркетингової розвідки. Інформація на виході підсистеми маркетингової розвідки володіє тим же істотним недоліком, що і внутрішня інформація - недостатністю за обсягом та змістом для прийняття управлінських рішень.

3. Підсистема маркетингових досліджень припускає цільовий збір інформації для рішення конкретної проблеми, з яким підприємство зіштовхується на ринку. Існує безліч напрямків проведення маркетингових досліджень: досліджують споживачів і конкурентів; досліджують ринкові тенденції і будують прогнози розвитку ринкової ситуації; досліджують і оцінюють потенціал нового продукту або нового ринку; оцінюють ефективність рекламної кампанії і реакцію клієнтів на надання визначених знижок і т.д. До різновидів маркетингових досліджень відносяться: моніторингові і дискретні (разові), панельні (які повторюються на одній і тій же вибірці) і репликативні (одноразові на певній вибірці), проведені власними силами і з залученням сторонніх фахівців, проведені для рішення проблем окремого підприємства або для одночасного рішення проблем декількох підприємств (омнібусні дослідження), пошукові (збір попередньої інформації для більш повного з'ясування проблеми на ранніх стадіях дослідження), описові і причинні (з'ясування причинно-наслідкових зв'язків між різними явищами і показниками). Але поза залежністю від того, яке саме дослідження проводиться, алгоритм проведення маркетингового дослідження залишається незмінним (рис. 2).

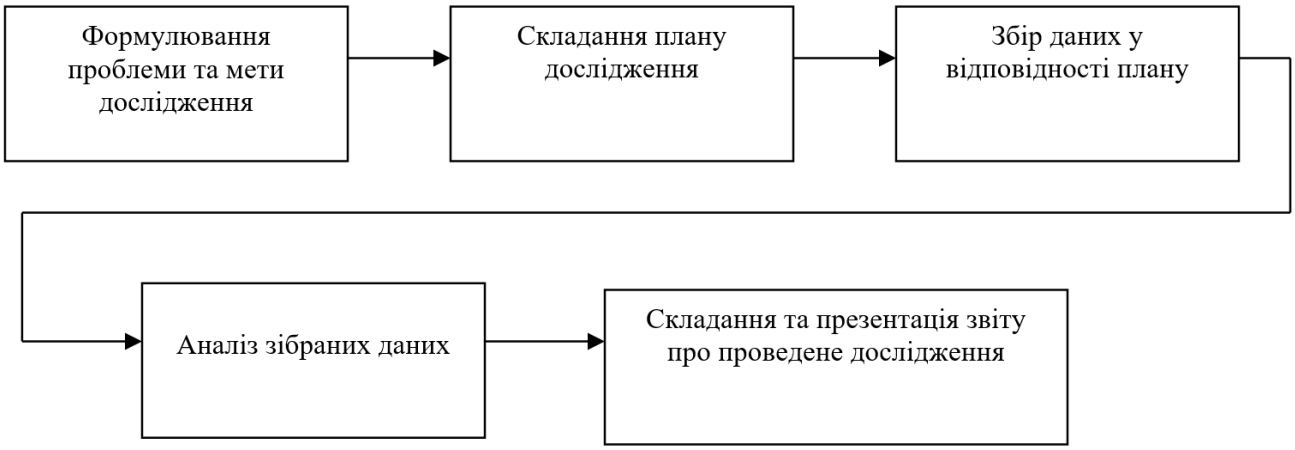


Рис.2. Алгоритм проведення маркетингового дослідження

На етапі формулювання проблеми і мети дослідження необхідно визначитися з тим, яка саме інформація важлива менеджеру, у чому складається потреба в інформації і для рішення якої управлінської проблеми ця інформація потрібно. Явно, у самому загальному виді проблема, що приводить до необхідності проведення маркетингового дослідження, складається завжди у відсутності необхідної для прийняття рішень інформації. Укрупнено всі проблеми підприємства можуть бути підрозділені на зв'язані з непередбаченими змінами і зв'язані з планованими змінами. У першому випадку проблема підприємства може набувати форму попиту, що знижується, на послуги перевізника, що припускає пошук причин такого зниження. В другому випадку підприємство зіштовхується з утрудненістю оцінки, наприклад, потенціалу нового продукту або нового ринку. Ціль дослідження завжди зв'язана з необхідністю рішення проблеми підприємства і формулюється найчастіше в тих же термінах, що і проблема.

Складання плану дослідження припускає рішення цілого комплексу задач: визначення джерел даних, методів дослідження, методів збору, виконавців, складання тимчасового графіка, складання вибіркового плану і визначення обсягу вибірки, на якій буде проводитися

дослідження. Усі перераховані задачі повинні бути взаємопов'язані, спрямовані на збір необхідної інформації і відображені в документі - плані маркетингового дослідження.

Етап збору даних припускає технічну підготовку до проведення дослідження (складання й апробація анкет, підготовка виконавців) і власне збір даних.

На етапі аналізу зібраних даних здійснюється технічна обробка інформації, надання інформації в зручному для аналізу вигляді, угруповання даних, графічне надання інформації, аналіз обробленої інформації з наступним формулюванням висновків і рекомендацій.

У завершенні складається звіт про проведене маркетингове дослідження, що надається менеджеру – одержувачу інформації.

Розглянемо основні методи збору даних при проведенні маркетингового дослідження. До них відносяться спостереження, експеримент, опитування.

Спостереження припускає безпосереднє відстеження ринкової ситуації, поведінки ринкових суб'єктів. Наприклад, широко поширені дослідження у формі спостереження за пасажиропотоками, за виконанням громадським транспортом графіка руху. Об'єктом спостереження може бути діяльність конкурента, при цьому спостерігач може представлятися потенційним клієнтом конкурента. Корисну інформацію може дати спостереження за поведінкою співробітників самого підприємства, відповідальних за обслуговування споживача. Спостереження є порівняно простим та недорогим методом збору даних. У той же час спостереження не дозволяє пояснити причини поведінки ринкових суб'єктів, мотивацію поведінки клієнтів. Важко здійснювати на довгостроковій основі моніторингові дослідження методом безпосереднього спостереження.

Експеримент як метод збору даних орієнтований на виявлення причин діючого на ринку. Типовий експеримент складається у виділенні декількох подібних ринків (міст, районів, регіонів) та пропонуванні цим ринкам різних наборів маркетингових стимулів. Наприклад, в одному регіоні автотранспортне підприємство може використовувати цінові знижки, в іншому - ні. Це дозволить (за умови схожості ринків) оцінити привабливість знижок для споживачів. Авіаперевізник може експериментувати з рівнем обслуговування пасажирів на борті, із пропозицією різних варіантів харчування в польоті і т.д. Можливо маркетингове експериментування з рекламними впливами на ринок; із пропозицією різних додаткових послуг, що підкріплюють транспортну послугу; з модифікаціями ціни. Маркетингові експерименти як метод збору даних є порівняно дорогими, найчастіше потребуючих значних витрат часу.

Найбільш розповсюджений метод збору даних - опитування, що припускає одержання відповідей на цікаві для дослідника запитання.

Список використаних джерел:

1. Абалонин С.М. Конкурентоспособность транспортных услуг / С.М. Абалонин. М.: Академкнига, 2004. –172 с.
2. Миротин Л.Б.Организация коммерческой работы на автомобильном транспорте М. : Брандес, 1997. -311с.
3. Абрамов А.Е. Основы анализа финансовой, хозяйственной и инвестиционной деятельности предприятия в 2-х ч. М.: Экономика и финансы АКДИ/ Абрамов А.Е.-Х.: Грамота, 2002. – 265с.
4. Абалонин С.М. Конкурентоспособность транспортных услуг / С.М. Абалонин. – М.: Академкнига, 2004. –172 с.
5. Герасимчук В.Г. Маркетинг: теория і практика: навч.посіб. / В.Г.Герасимчук. – К.: Вища школа, 1994. –327с.

УДК 656.02

І.А. Шатохіна
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ МАРШРУТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ

Ефективна і надійна робота міського пасажирського транспорту (МПТ) є найважливішим фактором соціально-політичної та економічної стабільності. МПТ забезпечує основну частину трудових поїздок населення, безпосередньо впливаючи на ефективність функціонування системи міського господарства, підприємств, організацій, установ. Маршрутний пасажирський транспорт - один із важливих чинників забезпечення життєдіяльності, на його частку припадає понад 85-90% всіх поїздок в містах. Сформована система організації перевезень, заснована на підвищенні щільності маршрутної мережі і забезпечення регулярності руху транспорту, не завжди задовольняє попит на транспортні послуги, особливо у годину пік. Це зумовило необхідність застосування нових управлінських рішень щодо організації робіт систем міських пасажирських перевезень, разом з цим з'явилася потреба створення якісно нових систем, здатних гнучко реагувати на постійно мінливі умови функціонування і вимоги споживачів. Незважаючи на зусилля органів місцевого самоврядування та транспортних підприємств по адаптації до ринкових перетворень, в останні роки в зазначеній сфері мають місце такі проблеми:

- відсутність загальноприйнятої методики оцінки результатів роботи міського маршрутного транспорту;
- відсутність об'єктивної інформації про потреби населення в пересуваннях;
- велике розмаїття можливих варіантів розвитку системи;
- велика кількість суб'єктів, що діють в конкретній економічній сфері;
- висока соціальна значимість об'єкта, яка обумовлює наявність серйозних вимог до якості управлінських рішень;
- слабкий розвиток системи моніторингу роботи транспорту і відсутність відповідної бази даних.

Пошуку дієвих методів планування роботи систем масового пасажирського транспорту в містах присвячено значну кількість робіт, детальний аналіз яких можна знайти в роботі [1].

Найбільш проблематичним питанням тут є точне моделювання поведінки пасажирів в транспортній системі. Хоча гіпотеза про імовірнісний характер вибору пасажиром шляху проходження і є загальноприйнятою, більшість з існуючих методик зводяться до використання нормованої моделі, в якій ймовірність вибору пасажиром шляху проходження прямо пропорційна його привабливості і обернено пропорційна сумарною привабливості всього набору альтернативних варіантів шляху для кореспонденції. Однак нормована модель не пояснює причин випадкового характеру процедури вибору шляху і не дає відповіді на питання про кількість реальних альтернатив при реалізації потреби пасажира в пересуванні.

Постановку задачі в підході «моделювання поведінкового попиту» [2] можна вважати найбільш точною для подолання проблем калібрувальної моделі, але слід зазначити, що підхід [2] запозичений з товарної мікроекономіки і не зовсім відповідає поведінці пасажира в системі міського пасажирського транспорту. Крім того, використання якісних, а не кількісних вимірників частоти використання конкурентних варіантів шляху істотно знижує можливості і точність моделей.

Для підвищення точності моделювання в роботі [3] постулати [2] доповнені допущенням про незначну частку помилкових рішень, прийнятих пасажиром при виборі шляху проходження

і обмеженням на розгляд тільки трудових пересувань. Це дало можливість формалізувати процедуру вибору пасажиром шляху проходження і визначити ймовірність вибору шляху як ймовірність того, що параметри цього шляху опиняться для пасажира більш привабливими та ефективними, ніж параметри інших варіантів шляху.

З іншого боку, за допомогою розробленого в ХНТУ методу обстеження переваг пасажирів - методу безпосередньої фіксації вибору [4], існує можливість отримувати фактичні значення ймовірності вибору кожного варіанту шляху проходження, які використовує пасажир.

Суть методу полягає у фіксуванні фактичних варіантів шляху проходження пасажиром з дому на роботу протягом досить тривалого періоду часу, наприклад - робочого тижня. Це дозволяє визначити статистичні ймовірності вибору пасажиром того чи іншого маршруту P_i:

$$P_i = \frac{n_i}{N_d}, \tag{1}$$

де n_i - частота вибору і-го маршруту, од. N_d - кількість днів обстеження, од.

Ці ймовірності не є зміщеними і об’єктивними, оскільки являють собою відображення фактичних процесів, що відбуваються в транспортній системі, і характеризують відношення респондента до параметрів транспортного процесу.

У цьому випадку на основі рішення системи рівнянь (1) з’являється можливість розрахунку фактичної привабливості варіанта шляху проходження.

$$\begin{cases} P_1 = \int\limits_{a_1}^{b_1} \prod\limits_{l=2}^{z} P\left[t_l - Y_l \geq t_1 - Y_1\right] \cdot f(t_1 - Y_1)dt_1 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots, \\ P_z = \int\limits_{a_z}^{b_z} \prod\limits_{l=1}^{z-1} P\left[t_l - Y_l \geq t_z - Y_z\right] \cdot f(t_z - Y_z)dt_z \end{cases} \tag{2}$$

де P_k - ймовірність вибору пасажиром k-го варіанту шляху з z альтернатив, відома з результатів обстеження; t_k - час очікування маршрутного транспорту при виборі k-го варіанту шляху проходження (випадкова величина, з законом розподілу $f(t_k)$); a_k, b_k - відповідно нижня і верхня межі розподілу; $t_k - Y_k$; Y_k - привабливість k-го варіанту шляху проходження (шукана величина).

У свою чергу це дає можливість отримання об’єктивної оцінки якості перевезень пасажирів, що обумовлено їх активною роллю в маршрутної системі і високою частотою використання транспорту, так як для більшості міських жителів найчастіша покупка - це поїздка в транспорті. Кожен раз, здійснюючи пересування, пасажир «голосує» за якість транспортного обслуговування своїм вибором.

У свою чергу це дає можливість отримання об’єктивної оцінки якості перевезень пасажирів, що обумовлено їх активною роллю в маршрутної системі і високою частотою використання транспорту, так як для більшості міських жителів найчастіша покупка - це поїздка в транспорті. Кожен раз, здійснюючи пересування, пасажир «голосує» за якість транспортного обслуговування своїм вибором.

З іншого боку, об’єктивні параметри кожного з конкурентних варіантів шляху проходження відносно легко визначаються з характеристик діючого варіанту маршрутної мережі і обстежень фактичних техніко-економічних показників роботи маршрутів.

$$Y_l = a_o + \sum_i^n a_i \cdot g_{il} \ , \qquad (3)$$

де n - кількість вимірних параметрів шляху проходження, a_i - коефіцієнти регресії, g_{ij} - значення i-го фактора для l-го варіанту шляху.

Наявність двосторонньої об'єктивної інформації дозволяє за допомогою спеціального інструментарію визначити ставлення пасажира до параметрів шляху проходження і, тим самим, отримати об'єктивну оцінку їх роботи.

Розробка інструменту для оцінки ефективності роботи маршрутного транспорту [3] дозволяє перейти до створення інструменту прийняття ефективних рішень в сфері маршрутних перевезень пасажирів - програми розрахунку параметрів МС і окремих маршрутів. Алгоритм рішення задачі включає в себе наступні етапи:

1. Формування масиву вихідних даних.

1.1. Моделювання транспортної мережі міста;

1.2. Моделювання діючої маршрутної мережі в рамках транспортної мережі міста;

1.3. Формування потенційної структури рухомого складу за видами транспорту;

1.4. Моделювання функцій привабливості шляхів слідування для однорідних груп пасажирів;

1.5. Моделювання потреб населення в пересуваннях для ранкового періоду пік.

2. Перевірка адекватності отриманої моделі на діючій маршрутній мережі.

2.1. Розрахунок параметрів роботи маршрутів і мережі в цілому за допомогою програмного забезпечення;

2.2. Порівняння розрахункових параметрів роботи маршрутів і фактичних даних;

2.3. Уточнення моделей в рамках довірчих інтервалів.

3. Формування раціональної маршрутної мережі міста.

3.1. Формування сукупності альтернативних маршрутів;

3.2. Інтерактивний вибір оптимального варіанта.

3.2.1. Модифікація чинного варіанту маршрутної мережі за рахунок сукупності альтернативних маршрутів;

3.2.2. Визначення альтернативних виконавців для частини маршрутів з урахуванням фінансових можливостей міста і перевізників;

3.2.3. Оцінка варіантів використання різного рухомого складу на частини маршрутів;

3.2.4. Оцінка варіантів ціни за проїзд на соціально значущих маршрутах.

3.3. Розробка варіантів роботи маршрутної мережі при закритті окремих ділянок транспортної мережі.

Крім інструменту вирішення управлінських завдань, для ефективного управління системою маршрутного пасажирського транспорту в містах потрібна наявність бази даних про потреби населення і параметрах роботи маршрутів. Для створення такого комплексу є всі передумови з точки зору сучасного рівня знань про об'єкт - міській маршрутній системі. Проблема полягає в часі і засобах, необхідних для вирішення цього завдання.

База даних про потреби населення і параметрах роботи міських маршрутів є необхідною умовою прийняття обґрунтованих рішень в сфері маршрутного пасажирського транспорту.

Крім цього вона дає можливість оцінки рівня якості обслуговування пасажирів, надійності і ефективності роботи транспорту на маршрутах, прогнозування попиту на перевезення.

Створення такої бази має бути результатом вибіркового моніторингу різних елементів транспортного процесу, який з одного боку надає інформацію для оперативного управління процесом перевезень з боку міської влади та виконання ними контрольних функцій, з іншого - поповнює базу даних, обробка та аналіз яких дозволять підняти на новий рівень управління на

поточному та перспективному рівнях. У перспективі, для зберігання і обробки бази даних, необхідна розробка спеціального програмного продукту, можливо на одній з наявних платформ (наприклад, 1С).

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

За допомогою наведеної методики управління міським пасажирським транспортом можливе вирішення наступних завдань:

- розробка генеральних планів розвитку маршрутної системи до 10-ти і більше років вперед для формування політики капітальних вкладень управлінням транспорту і зв'язку органів місцевого самоврядування на основі переваг пасажирів, планів розвитку території міста та можливостей міського бюджету. Сюди включаються питання розвитку комунікацій та інфраструктури різних видів транспорту, визначення раціональних типів рухомого складу, рівня фінансування пріоритетних видів транспорту і т.д .;
- деталізація планів і розробка оптимального варіанта функціонування маршрутної системи в рамках постійних потреб населення в пересуваннях на період до 5-ти років;
- розрахунок і обґрунтування раціональної величини тарифів на перевезення пасажирів;
- розробка типових планів роботи маршрутів при виникненні позаштатних ситуацій;
- оцінка доцільності відкриття або зміни параметрів роботи маршрутів з ініціативи учасників процесу в рамках діючої маршрутної системи;
- інші завдання, що вимагають оцінки наслідків прийнятих рішень для пасажирів та інших учасників транспортного процесу.

Список використаних джерел

1. Частка В.К. Теоретичні основи і методи організації маршрутних автобусних перевезень пасажирів у великих містах: В 2 т .: Дис. д-ра техн. наук: 05. 22. 10. М., 1993. 301 л . (Т.2-52 л.)
2. Грановський Б.І. Моделювання пасажирських потоків в транспортних системах // Підсумки науки і техніки «Автомобільний і міський транспорт». - Том 11. - М .: Изд-во ВІНІТІ, 1986, с. 67-105.
3. Горбачов П.Ф. Підхід до визначення ймовірності вибору пасажиром шляху проходження // Вісник ХНАДУ / Зб. наук. тр., - Харків: Вид-во ХНАДУ. - 2006. - Вип.19. - С. 88-91.
4. Горбачов П.Ф. Визначення ймовірності вибору пасажиром шляху проходження // Інформаційно - керуючий системи на залізничному транспорті. - Харків, 2001. - №. 2. - с. 7 - 9.

УДК 621.771

Є.М. Смірнов, В.О. Скляр
Старооскольский технологічний інститут ім. О.О. Угарова (філія), НДТУ «МІСіС».

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КАТАНКИ Ø8 ММ З МІДІ ВОГНЕВОГО РАФІНУВАННЯ МАРКИ КМОР

Мідна катанка є основним металом, що застосовується у виробництві кабелів і дротів. Традиційно, при виробництві мідної катанки на лініях "безперервного лиття-прокатки" з шахтною піччю допускається використання якісних відходів мідного брухту в кількості до 25-30 % разом з мідними катодами.

Однак в останні роки зростає інтерес до виробництва катанки безпосередньо шляхом плавки мідних відходів [1]. Розробниками подібної технології є: німецької фірми "MAERZ" [2] (метод вогневого рафінування - FRHC); альянс фірм "LA FARGA LACAMBRA" (Іспанія) [3] і "PROPERZI" (Італія) [4]. В основі запропонованої технології лежить використання відбивної поворотної печі з рафінуванням мідного розплаву флюсами із вмістом свинця [5].

В Україні така катанка має марку КМор та вирбляється на ПАТ "Артемівський завод з обробки кольорових металів".

Порівняння хімічного складу міді вогневого рафінування марки КМор з хімічним складом міді марки М1 електролітичного рафінування для умов ТОВ "Оскольський завод кольорових металів" (таблиця1), дозволило виявити суттєву різницю за вмістом нікелю, срібла, олова і свинцю, а так само велику (в 12 разів) різницю по сумі домішок (хімічний аналіз міді був виконаний на оптико-емісійному спектрометрі Spectromax).

Таблиця 1

Хімічний склад зразків мідної катанки

Марка	Cu	Вміст елементу, ppm										
	%	Pb	Fe	Sn	Sb	As	Ni	Zn	Bi	P	S	Ag
М1	99.993	8	17	2	3	1	4	3	2	5	8	10
КМор	99,923	477	22	65	14	2	130	22	2	6	10	23

Між тим, саме вищезазначені елементи зазвичай використовуються для мікролегування міді з метою підвищення її міцності і термічної стійкості [6, 7]. Зазначені відмінності у складі домішок (особливо тих, що кристалізуються по межах зерен, в першу чергу свинцю, сурми і вісмуту) дозволяють прогнозувати більш високий розмах основних показників мідної катанки: питомий омічний опір, кількість оборотів до руйнування, пластичних властивостей металу, щільності міді.

В інженерній і заводській практиці зазвичай відсутнє обладнання для визначення діаграм пластичності і кривих зміцнення. В цьому випадку оброблюваність тиском оцінюється через стандартні механічні властивості металу як при кімнатній, так і підвищених температурах. Пластичні властивості визначаються відносним подовженням δ і звуженням ψ.

Оцінку пластичних властивостей мідної катанки діаметром 8,0 мм марки КМор виконали в зіставленні з катанкою аналогічного діаметру марки КМ по ГОСТ Р 53803-2010. Температура зразків під час випробувань становила 20 і 800÷850 ºС. Випробуванню піддавалися натурні зразки, які вирізалися з бунтів поточного виробництва.

Випробування виконали за допомогою гострильно-затяжного верстата фірми NIEHOFF. Принцип роботи верстата заснований на загостренні кінця катанки перед заправкою в волочильний стан методом розігріву з одночасним розтягуванням.

Для визначення щільності міді по довжині деформованих зразків, останні поділялися на ділянки, в межах яких діаметр зразка практично не змінювався. З кожної з ділянки вирізався зразок, щільність міді в якому визначалася методом гідростатичного зважування.

Результати випробувань з визначення пластичних властивостей мідної катанки представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

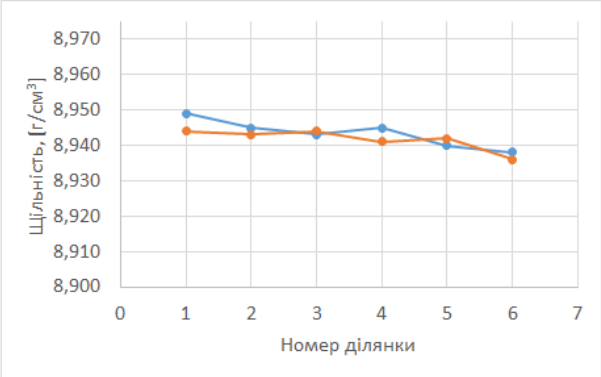
Пластичні властивості мідної катанки Ø8 мм

Марка міді	Температура випробувань (ºС) і параметр пластичності (%)			
	20,0		800÷850	
	δ	ψ	δ	ψ
КМ	41,0	91,0	70,0	99,0
КМор	40,0	87,5	19,0	43,0

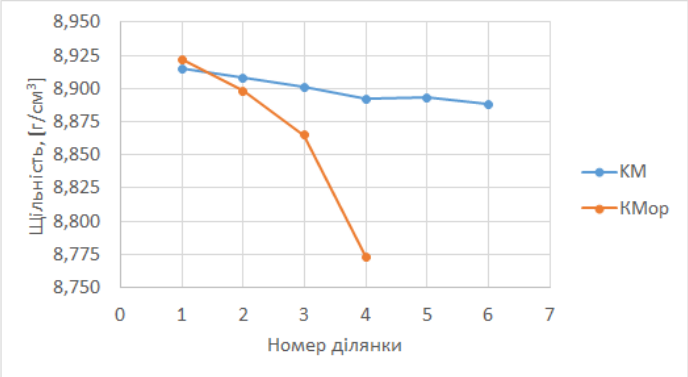
Аналіз даних таблиці 2 показує, що при кімнатній температурі (20 °С) пластичні властивості катанки марок КМ і КМор практично не відрізняються як за показниками відносного подовження δ (41 і 40 % середні значення), так і за показником відносного звуження після розриву ψ (91 та 85,7% середні значення). У той же час при температурі 800÷850 °С в катанці марки КМор характер зміни показників пластичності абсолютно протилежний порівняно з катанкою марки КМ. Так показники пластичності у катанки КМор при температурі 850 °С знизилися майже в два рази: відносне звуження ψ - з 85,7 до 43%, а відносне подовження δ - з 40 до 19%. При цьому слід зазначити, що показник звуження шийки носить умовний характер. На випробуваних зразках видимої шийки не утворилося.

Випробування катанки марки КМ при аналогічних температурах показали, що підвищення температури сприяло подальшому підвищенню пластичних властивостей: відносного звуження ψ - з 91,0 до 99,0%, а відносного подовження δ - з 41 до 70%.

Результати дослідження щільності міді по довжині досліджених зразків представлені на рис.1. Видно, що в разі випробувань при температурі 20 °С (рис. 1, а) щільність міді знижується, фактично, прямопропорційно в міру наближення до місця розриву. Це характерно як для катанки марки КМ, так і для катанки марки КМор. При цьому слід зазначити, що початкова щільність катанки КМ трохи нижче щільності катанки КМор.



а)



б)

Рис.1. Зміна щільності міді по довжині зразка після розриву: а – температура випробувань 20 °С; б - температура випробувань 800÷850 °С

Підвищення температури випробувань до 800÷850 °С сприяло суттєвому видозміненню картини на зразках катанки марки КМор. По-перше, внаслідок зниження пластичності, число ділянок зменшилося з 6 до 4. По-друге, спостерігається різке зниження щільності міді в міру наближення до місця руйнування. В цілому, щільність зразка катанки КМ під впливом критичних (до руйнування) розтягуючих напружень і високої температури знизилася на 0,03 г/см^3 до місця розриву (або 0,34 %), а зміна щільності на зразку катанки КМор склала 0,143 г/см^3 (або 1,6 %), тобто у 5 разів більше, ніж в катанці марки КМ.

В теорії ОМТ пластичність оцінюється інваріантною (незалежною від системи координат) характеристикою – граничним ступенем деформації зсуву, яку може витримати метал до руйнування Λ_p.

Так як в ході експериментів пластичність міді оцінювали відносним подовженням δ або звуженням Ψ при навантаженні зразків за схемою одноосьового розтягу, то їх взаємозв'язок з граничним ступенем деформації зсуву Λ_p визначався згідно даних роботи [8]. Результати розрахунку Λ_p і μ_p показали, при визначенні величин Λ_p і μ_p за величиною δ і ψ є досить суттєві відмінності. Скоріш за все, при визначенні Λ_p за величиною відносного подовження δ виходять дещо занижені значення. Причина отримання занижених значень криється в тому, що при випробуванні на розтяжіння, розтягують напруги, що виникають в зразку, збігаються з напрямком прокатки, а отже і напрямком залишкових напруг.

У теж час, у виробничій практиці орієнтуються саме на величини значень μ_p, отримані при перерахунку результатів випробувань з визначення відносного подовження δ. Зокрема, на ТОВ "Оскольський завод кольорових металів" при виробництві мідної катанки Ø8 мм на 15-ти клітьовому стані з вихідного безперервнолитого злитка площею 2020 мм^2 величина $\mu\sum = 40,4$, а $\mu_{cp} = 1,28$ (за величиною δ - $\mu_p = 1,475$).

В цілому, отримані результати дозволяють припустити, що у разі виробництва катанки з міді марки КМ, що має високий ресурс пластичності, розтягуючі напруги, що виникають при прокатці «гасяться» поздовжньої пластичною деформацією і не супроводжуються змінами щільності в готовому прокаті.

Абсолютно протилежна ситуація складається з катанкою марки КМор. При виникненні навіть незначних розтягуючих напружень в процесі прокатки (наприклад, із-за коливань щільності литой заготовки) ресурсу пластичності, який втрачається при високих температурах, вже не вистачає, щоб «погасити» ці напруги пластичною деформацією. Тому метал компенсує ці напруги зниженням щільності.

У світлі вищевикладеного, цілком можна пояснити підвищений розмах показників фізичних властивостей, зокрема питомої омічного опору катанки КМор, саме сукупним впливом коливань хімічного складу металу і змінами технологічних параметрів процесу (наприклад нестабільна щільність литої заготовки), що ініціюють виникнення розтягуючих напружень під час прокатки.

ВИСНОВКИ

Представлені результати оцінки пластичності катанки Ø8 мм з міді марок КМ і КМор. Встановлено, що при кімнатній температурі (20° С) пластичні властивості катанки марок КМ і КМор практично не відрізняються як за показниками відносного подовження δ (41 і 40 % середні значення), так і за показником відносного звуження після розриву ψ (91 та 85,7% середні значення). У теж час, показники пластичності у катанки КМор при температурі 850 °С знизилися майже в два рази: відносне звуження ψ - з 85,7 до 43%, та відносне подовження δ - з 40 до 19%. Результати розрахунку граничного коефіцієнта витяжки μ_p показали, що його величина не повинна перевищувати 1,475.

Список використаних джерел:

1. Arderiu O.G., Properzi G. Continuous copper rod production from 100 % scrap // Proc. 65th Annual Convention of the Wire Association International (Atlanta, Georgia, USA, March 1995). Wire Journal International, 1996. P. 75–82..
2. SMS-MEER. URL: http:// www.sms-group.com/ (accessed: 20.03.2019).
3. LA FARGA LACAMBRA // https://www.lafarga.es/es/ (дата обращения: 20.03.2019).
4. Continuus-Properzi. URL: http://www.properzi.com/ (дата обращения: 20.03.2019).
5. Garcia M. Scrap melting technology // Wai's first-ever Global Continuous Casting Forum (Atlanta, USA, 2–5 May 2011). P. 506–512..
6. Осинцев О.Е., Фѐдоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубеж-ные марки. Справочник / О.Е.Осинцев, В.Н.Фѐдоров.- М.: Машиностроение, 2004. - 336 с.
7. Николаев А.К. Материалы для кристаллизаторов непрерывного литья слитков / А.К. Николаев // Цветные металлы. - 1983. - №12. - С.51-55.
8. Г.А.Орлов Инженерная оценка обрабатываемости металлов давлением. Изв. вузов. Черная металлургия. 2013, № 3. С. 11-14.

УДК 621.73.016

С.П. Гожий, А.В. Клиско
КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев

ОБЪЕМНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДИСКОВЫХ, ФЛАНЦЕВЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОДВИЖНОГО ЛОКАЛИЗОВАННОГО ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ

В работе представлены технологические наработки, которые являются результатами теоретических и экспериментальных исследований процессов обработки давлением с локализованным и перемещаемым очагом пластических деформаций. Ключевое место в исследовании процессов занимает выявление и пояснение физики качественных эффектов. С другой стороны, наличие таких эффектов позволяют обеспечить эффективную замену традиционных способов на локальные, а в ряде случаев придать изделию абсолютно новые качественные свойства.

Конкурентоспособность или эффективность штамповки обкатыванием с локализованным очагом деформации базируется на таких основных ее достоинствах как снижение общих энергозатрат из-за уменьшения потерь на преодоление сил трения, повышение качества изделий при равномерном распределение деформации, расширение технологических возможностей путем получения тонких элементов конструкции. Все это в комплексе позволяет определенную номенклатуру деталей перевести с горячей обработки на холодную. При этом снижаются расход основных материалов и металлоемкость оборудования, а также трудоемкость механической обработки. Совокупный эффект может быть оценен только при замкнутом цикле производства, так как частично эффективность от внедрения рассматриваемых технологий проявляется вне заготовительного производства [1].

Следует отметить, что штамповка с обкатыванием имеет эффективность и целесообразность использования как для выполнения операций объёмной, так и листовой штамповки. На этом фоне нельзя не отметить тот факт, что этот способ обработки позволяет дополнительно и объединить в себе реализацию технологий объёмного и листового формоизменения, что порождает совершенно новые, не свойственные производству традиционными способами, классы и виды деталей.

Примерами эффективного перевода с традиционных технологии на технологии локального формообразования служат следующие внедренные в производство предложения, которые относятся к объемной штамповке.

Для изготовления 152 наименований изделий зубчатых колес коробки передач фрезерных станков при годовом выпуске 577,7 тыс. штук разработан типовой техпроцесс холодной объёмной штамповки с обкатыванием на прессе с усилием 2,5 МН [1]. Сравнительно широкая номенклатура деталей, изготавливаемых по однотипной технологии, становится возможной благодаря универсальности оснастки. Это же обстоятельство способствует значительному сокращению сроков подготовки производства. При этом достигаются следующие показатели:

- эксплуатационные затраты снижаются в 2,2 раза;
- затраты на основные материалы уменьшаются в 3,1 раза;
- капитальные затраты снижаются в 1,5 раза;
- затраты на заработную плату снижаются 1,6 раза.

Предложенная технология получила развитие при выполнении договорных работ по производству деталей большегрузных автомобилей. Объектом технологических разработок являлась номенклатура осесимметричных деталей автомобильной коробки передач типа шестерен, синхронизаторов и т.п. Цель работ - создание малоотходной технологии получения заготовок с максимальной площадью функционально завершенных, т. е. не требующих последующей механической обработки, поверхностей, включая создание специализированного оборудования для ее реализации – специализированного гидравлического пресса для штамповки с обкатыванием с усилием 5,0 МН.

Концептуальные принципы построения технологического процесса, в плане решения поставленной задачи, отработаны в порядке выполнения поисковой работы по модернизации техпроцесса производства катков ходовой части гусеничных тракторов. Заготовка и полученные детали с коэффициентом использования материала (КИМ) свыше 85% показаны на рис.1.

Установлено, что в данном случае достоинства штамповки обкатыванием могут быть обеспечены только при надлежащем решении вопросов получения точных исходных заготовок под холодное обкатывание, что решает технологические проблемы отсутствия прикромочных закатов и формирования минимальных радиусов сопряжения. Это позволяет получать функционально завершенные торцевые и цилиндрические поверхности при последующей штамповке обкатыванием. В связи с этим разработанная технология обкатывания интегрируется введением в эксплуатацию автоматической линия фирмы Газенклевер по изготовлению кольцевых заготовок путем прошивки в горячем состоянии с последующей раскаткой.

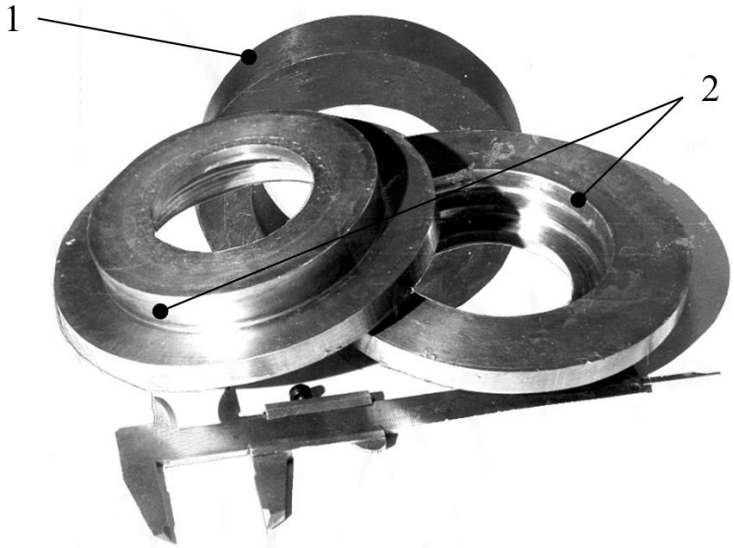


Рис.1. Заготовка и отштампованные обкатыванием детали
(1 – кольцевая заготовка, 2 – катки гусеничного трактора)

Номенклатура деталей, подлежащих изготовлению по новой технологии, включает 12 наименований при годовом объеме выпуска 2843,8 т. Материал - Сталь 15ХГН2ТА, Сталь 12ХН3А, Сталь 35Х, Сталь 40Х [2]. Максимальный диаметр детали 210 мм.

По штатной технологии заготовки, являющиеся конечной продукцией кузнечного завода, получают в следующей технологической последовательности: холодная разделка прутка на заготовки, нагрев в индукционном нагревателе, объемная штамповка на кривошипном горячештамповочном прессе (КГШП), обрезка облоя, термообработка поковок. Усредненный по объему анализируемой номенклатуры деталей КИМ составляет 0,4.

Новая технология позволяет повысить КИМ до 0,85. Экономия основных материалов достигается за счет:

* точного дозирования заготовки по объему;
* точной отрезки при параллельных торцах;
* прошивки при малом диаметре заготовки;
* уменьшения припусков на угар и последующую штамповку;
* уменьшения припусков на механическую обработку;
* исключение из техпроцесса промежуточного нагрева под штамповку раскатанной исходной заготовки.

Эти возможности вытекают из перехода от горячей штамповки на КГШП к холодной штамповки обкатыванием на специализированном оборудовании. По первому варианту даже рациональный выбор геометрии промежуточной заготовки не приводит к желаемым результатам. Необходимость промежуточного нагрева сводит на нет ожидаемый эффект, что связано с большими энергозатратами.

Расчет технико-экономической эффективности производился по укрупненным показателям. Снижение себестоимости определялось повышением КИМ и снижением расходов на механообработку. Как уже отмечалось, полная экономия по этой номинации кузнечным заводом не может быть показана, так как механообработка выполняется на других производственных площадях.

Весьма перспективным есть направление, когда используется предварительная кольцевая заготовка [3]. В таких случаях достигается максимальный экономический эффект

В процессе освоения производства автомобиля, имеющего полный привод, возникла проблема изготовления задней полуоси, которая имеет больший диаметр фланцевой части [1]. По штатной технологии фланец заготовки диаметром 154 мм высаживался на автоматизированной горизонтально-ковочной машине (ГКМ) производства фирмы National, с усилием 12,25 МН. В связи с увеличением диаметра фланца до 173 мм, а следовательно, и усилия деформирования, возникла необходимость в ГКМ в 1,6 раза большего усилия.

Для реализации существующей технологии потребовалась горизонтально ковочная машина с усилием 24,5 МН. Покрытие стоимости такой ГКМ, оснащенной средствами загрузки-выгрузки, на мировом рынке производителей требует значительных затрат. Потребность в автоматизации связана с массовым характером производства (около 150 тыс. поковок в год). Причем, приобретением дорогостоящего оборудования проблема решалась частично. Коэффициент использования по времени работы ГКМ, которая приобреталась целевым назначением, на порядок ниже оптимального, что существенно сказывалось на себестоимости продукции.

В разрешение возникших проблем разработана принципиально новая технология, в соответствии с которой предварительно высаженный фланец сравнительно малого диаметра подвергается холодной штамповке обкатыванием до заданных размера как по диаметру, так и по толщине. На рис.2 показана исходная редуцированная заготовка с высаженной фланцевой головкой и обкатанная в холодном состоянии фланцевая часть полуоси.

По ходу создания нового технологического процесса решены следующие вопросы:

* обеспечена существенная экономия металла;
* сохранена штатная технология высадки;
* сокращен объем механической обработки;
* получены завершенные поверхности не требуючиу последующей механообработки;
* исключена необходимость в дорогостоящей ГКМ;
* создано доступное по себестоимости специализированное оборудование, которое может быть тиражировано;
* сокращены производственные площади;
* сокращены сроки подготовки производства;
* достигнуто снижение себестоимости продукции.

Снижение материалоемкости процесса достигнуто за счет двух факторов. Во-первых, обкатывание фланца относительно малого диаметра нахолодно позволило снизить припуски под последующую механическую обработку. Во-вторых, новый технологический процесс нивелировал существенный недостаток штатной технологии, заключающийся низкой точности изделия по толщине фланца. Поэтому толщина высаженного фланца выбирается из условия исключения краевого смыкания инструментов, что приводит к введению дополнительного припуска на механообработку.

Для новой технологии эта особенность не является недостатком, так как высотный избыток металла при штамповке обкатыванием разгоняется в радиальном направлении. Кроме того, в этом случае диаметр высаженного фланца может быть значительно уменьшен. При реализации новой технологии выбор диаметра высаживаемого фланца с целью снижения затрат на оснастку производился по наличному инструменту, используемому для других полуосей.

Новая технология обеспечивает экономию 0,65 кг стали 40 на каждой полуоси, что при годовой программе 150 тыс. штук составляет около 100 тон. Стоимость снятия тонны стружки при механообработке приблизительно равна стоимости материала, следовательно, эффект от экономии материала в денежном выраже В процессе освоения технологии выяснилось, что холодное обкатывание способствует улучшению обрабатываемости при механообработке, что, в

сою очередь, привело к интенсификации режимов резания, а также повысилась стойкость инструмента, что весьма существенно в условиях массового производства.

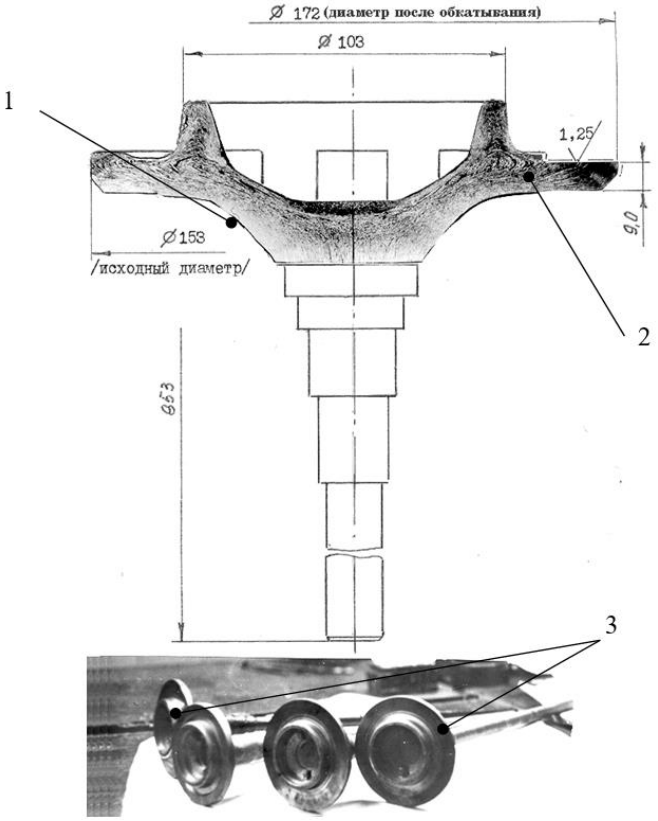


Рис.2. Последовательность обработки и фото полуосей автомобиля [1]
(1 – заготовка после штамповки на ГКМ; 2 – фланцевая часть полуоси после штамповки обкатыванием; 3 - фото полуосей автомобиля)

По описанной технологии экономически эффективно изготовление заготовок с относительно тонким фланцем и небольшой ступицей. Характерным представителем деталей этой группы являются шестерни приборов точной механики.

Обычно заготовки шестерен в виду их незначительных размеров получают отрезкой из прутка. При этом ширина пропила соизмерима с толщиной полотна шестерни. Коэффициент использования металла в таком случае не представляет 25…30%. Материал шестерен - дорогостоящие бронзы типа БрДЖ 9-4, БрФ, БрБ 2, БрАМЦ 9-2, БрОФ 4-0,25 и т.п.

Техпроцесс реализован на установке для штамповки обкатыванием с усилием 0,3 МН, базирующейся на гидравлическом прессе для штамповки пластмасс с усилием 0,63 МН. Аналогичная установка использована для изготовления детали - тарелка пружины клапана карбюраторного двигателя мотоцикла (см. рис.3). Технология практически безотходная при решении вопроса получения коротких цилиндрических заготовок с торцами перпендикулярными оси. В настоящее время производятся исследования, направленные на получение тарелки пружины клапана с центральным коническим отверстием, что позволит практически полностью устранить механическую обработку.

Рис.3. Детали тарелки пружины клапана газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания

Энергосиловые параметры определяются по прежней методике. Особенным является то обстоятельство, что в результате обкатывания фланцев получают относительно тонкие полотна. В этом случае приконтактную область можно рассматривать как пластический слой, сжатый жестким шероховатым инструментом. Пластический слой выдавливается в стороны (тангенциально) от середины к краям. На поверхности контакта возникают большие касательные напряжения и при развитой деформации допустимо считать их максимальными.

Обобщив представленные материалы, можно сделать следующие выводы.

Разработанные типовые ресурсосберегающие технологические процессы базируются на результатах теоретических и экспериментальных исследований процесса обработки обкатыванием, позволивших выявить ряд положительных эффектов, присущих именно деформированию в условиях перемещающегося локализованного очага пластической деформации. Снижение усилия осевого нагружения и равномерное распределение деформации положены в основу техпроцессов холодной объемной штамповки обкатыванием заготовок с развитой дисковой или фланцевой частью. Типичными представителями этой группы изделий является номенклатура деталей автомобильной промышленности (заготовки шестерен, полуосей, фланцев и пр.).

Разработанные технологии обеспечивают существенное снижение не только текущих затрат, но и капитальных вложений, что особенно важно в условиях современного гибкого производства. Доказана возможность формирования функционально завершенных поверхностей, что способствует снижению объема механической обработки. Реализация технологических процессов свидетельствует о целесообразности внедрения штамповки обкатыванием в крупносерийном и массовом производстве.

Показана необходимость комплексного подхода к решению задач повышения эффективности производства. При решении вопросов получения качественной исходной кольцевой заготовки штамповка обкатыванием может обеспечить экономию свыше 40% основных материалов.

Штамповка обкатыванием эффективна в приборостроительном производстве при получении заготовок шестерен приборов точной механики и других относительно тонких осесимметричных деталей со ступицей. Это в равной степени касается как массового, так и мелкосерийного производства. В последнем случае эффективность объясняется значительным сокращением сроков подготовки производства и простотой геометрии обкатывающего инструмента, как правило имеющего форму конуса.

Как отмечались выше авторы располагают широким рядом отработанных и подготовленных к производственному внедрению технологических процессов и оборудования с локализованным и перемещаемым очагом пластической деформаций. И если данная статья посвящена процессам объемного формоизменения, то в последующей планируется обсудить перспективность и особенности процесса при выполнении операций листового формоизменения. Особый интерес могут вызвать технологии, в которых в той или иной мере проявляются качественные особенности штамповки с обкатыванием присущие только этому процессу. Это позволяет получить экономическую целесообразность не только от прямых преимуществ процесса (повышенная точность, равномерность деформации, обработка в холодном состоянии и пр.), но и получить ощутимую прибавку из-за его технологических особенностей (целенаправленное истечении металла из очага деформаций, снижение усилий центрального прошивания, объединение процессов объемной и листовой штамповки и пр.).

Список использованных источников

1. Кривда Л.Т. Теорія і практика штампування обкочуванням: (Монографія) / Л.Т.Кривда. - Київ. 1998. – 179 с.
2. Абиєв А.Г., Гожій С.П., Кривда Л.Т. Штампування обкочуванням кільцевих деталей. // Абиєв А.Г., С.П. Гожій, Л.Т. Кривда. Вістник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Серия «Технічні науки». – 2002. ІУ №23. с. 54-57.
3. Гожій С.П., Кліско А.В., Носенко А.І. Ресурсозберігаючий технологічний процес виготовлення кільцевих фланців. // Гожій С.П., Кліско А.В., Носенко А.І. Вістик Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія «Машинобудування». – 2011. №62. с. 58-62.

УДК 669.715:621.771.23

В.А. Титов[1], В.И. Малышко[2], Т.М. Лабур[3], Г.Ю Сафонов[2]
1 – КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев
2 – ГП «КБ «Южное», г. Днепр
3 – Институт электросварки НАН Украины, г. Киев

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ СВАРНЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ ТЕРМОУПРОЧНЯЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Актуальной для машиностроения научно-технической задачей является получение изделий типа оболочек сферической формы из листовой заготовки термоупрочняемых свариваемых алюминиевых сплавов. Такая задача возникает вследствие необходимости использования заготовок, диаметр которых превышает размеры ширины листов из алюминиевых сплавов, полученных прокаткой.

Таким образом, комплексный технологический процесс получения сферических оболочек включает последовательное выполнение операций сварки встык частей плоской заготовки и последующего пластического формообразования сферической оболочки из этой заготовки.

Трудности выполнения операций пластического формообразования сварной заготовки заключается в отличии механических свойств материала сварного шва и околошовной зоны от свойств основного металла. Как правило, для термоупрочняемых алюминиевых сплавов механические свойства зоны термического влияния, прилегающей к сварному шву, ниже, чем для основного металла и составляют по пределу прочности $0{,}8\,\sigma_B$ основного металла, а относительное удлинение ниже в 2 – 3 раза.

Различие в механических свойствах вызывает локализацию деформаций в околошовной зоне при пластическом формообразовании сферических оболочек и их разрушение.

Использование различных видов сварки, в том числе аргонодуговой, сварки трением с перемешиванием и других видов сварки, не решает проблемы, возникающие при пластическом формообразовании.

Предварительный анализ показывает, что решение возникающих проблем пластического деформирования заготовки со сварным швом может быть получено путем выравнивания механических свойств в плоскости заготовки, а также изменением схем напряженного состояния при пластическом формообразовании.

Первое направление по выравниванию механических свойств в плоскости сварной заготовки может быть основано на использовании термомеханических методов обработки с последующей гомогенизацией металла. Основная задача процессов – достижение равномерной структуры металла в зоне шва и основного металла.

Второе направление должно предусматривать схемы формообразования оболочки из заготовки, которые обеспечивают отсутствие напряжений растяжения в зоне сварного шва, особенно в направлениях перпендикулярных к оси сварного шва.

Проведенные предварительные исследования на образцах показали возможность реализации этих процессов.

Список использованных источников

1. Александров В.Г., Базанов Б.И. Справочник по авиационным материалам и технологии их применения – М.: Транспорт, 1979. – 263 с.
2. Вульф Б.К., Ромадин К.П. Авиационное материаловедение – М.: Машиностроение, 1967. – 391 с.
3. Алюминиевые сплавы. Состав, свойства, технология, применение: Справочник / Под общ. Ред. Академика РАН И.Н. Фридляндера – К.: КОМИНТЕХ, 2005. – 365 с.
4. Моляр А.Г. Конструкционные материалы в самолетостроении / А.Г. Моляр, А.А. Коцюба, А.С. Бычков, О.Ю. Нечипоренко – К.: КВИЦ, 2015. – 400 с.
5. Фридляндер И.Н. Влияние типа структуры на свойства холоднокатаных листов / И.Н. Фридляндер, О.Е. Грушко, В.В. Берестенев, Л.М. Шевелева, Л.А. Иванова – Технология легких сплавов, 2002. – №4. – С. 47-52.

Наукове видання

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ І ЯКОСТІ ФАХОВОЇ ОСВІТИ

Матеріали
X Міжнародної науково-технічної конференції

За технічною редакцією проф. В.А. Тітова

Художнє оформлення А.Д. Лавріненков

Редактори О.В. Холявік
А.Д. Лавріненков

Комп'ютерна верстка А.Д. Лавріненков