



ФОРУМ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ

125-річчю заснування
КПІ ім. Ігоря Сікорського та навчально-наукового
механіко-машинобудівного Інституту присвячується

Том 3

**МАТЕРІАЛИ XIII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ
ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ
МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ**

2023

Зміст

СЕКЦІЯ ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ПЛАСТИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МАШИНОБУДУВАННЯ

P.B.Abhari, O.G.Malii, O.Yu. Chepelenko, K.I. Kotsiubivska Finite element simulation to analyze forming characteristics in radial extrusion process	5
Л.І. Алієва, В.М. Левченко, О.Є. Марков, Х.В. Малій Вплив контактного тертя на формоутворення порожнистих деталей при видавлюванні	8
І.С. Алієв, В.І. Калюжний, В.М. Левченко, О.Г. Малій Силові параметри комбінованого видавлювання порожнистих конічних деталей	12
S. G. Karnaukh Study of the stamp for cutting bar sections with a differentiated clamp	15
Т. О. Kulik, О. М. Kulik Experimental study of the influence of the temperature factor on the rolled's microrelief formation during the implementation of the warm deformation	19
О.Е. Марков, В.Ю. Станков, А.С. Хващинський, А.В. Мусорін, В.В. Молодецький, А.А. Лисенко Дослідження процесу осадження масивних профільованих заготовок при виготовленні деталей відповідального призначення	22
М.І. Кінденко Зміна експлуатаційних властивостей пробивних пуансонів із швидкорізальної сталі Р6М5 після обробки в імпульсному магнітному полі	26
В.А. Тітов, В.О. Корева, О.В. Тимошенко Дослідження подовження ресурсу пластичності конструкційних матеріалів методами термомеханічної обробки при виготовленні деталей	30

В.А. Тітов, І.М. Максимів Пружиніння товстостінної трубчастої заготовки при радіальному обтиску бойками по циліндричній та профільованій оправці	35
Буртан М.А., Тітов А.В. Ізотермічне штампування деталей з тонкостінними елементами	39
В.Л. Калюжний, С.В. Ситник Напівгаряче та гаряче зворотне видавлювання з роздачою вісесиметричного порожнистого напівфабрикату із маловуглецевої сталі	43
О.В. Калюжний, О.С. Ярмоленко Витягування з потоншенням через одну матрицю з використанням пуансона спеціального профілю порожнистих заготовок із латуні	47
В.Л. Калюжний, А.Є. Титаренко Гаряче та напівгаряче видавлювання порожнистого напівфабрикату із високовуглецевої сталі	50
Гараненко Т.Р. Кліско А.В. Конструкторсько-технологічний класифікатор технічних рішень конструкції лопатки вентилятора ГТД	53
Савчинський І. Г., Сивак Р. І. Оцінка деформовності при зміцненні заготовок бандажних кілець турбогенератора	56
І.А. Сєліверстов, Д.О.Дмитрієв, І.М.Максимів Технології виготовлення профільованих виробів методами холодного пластичного деформування	59
А.Д. Лавріненков, М.О. Аверков, Н.К. Злочевська, Кліско А.В. Моделювання процесу інкрементного формування листових деталей напівсферичної форми в програмному комплексі Abaqus	62
Nataliia Zlochevskaya, Anton Lavrinenkov, Oleksandr Us, Andrii Klisko. Research of different deformation schemes for obtaining a fine-grained structure of the material	66
С.П. Гожій, В.А. Мироненко, А.Д. Лавріненков, Кліско А.В. Моделювання процесу витягування з потоншенням напівфабрикату після штампування обкочуванням	69

Піманов В.В., Орлюк М.В., Савченко Д.В.

Технологія виготовлення корпусу гранати підвищеної
осколковості калібром 40мм

74

**Орлюк М.В., Піманов В.В., Савченко Д.В., Слінько Н.О., Молод О.В.,
Дубініна Н.М.**

Особливості використання deform 2d для моделювання витягування
з потоншенням через одну та дві матриці

79

Сабол С.Ф., Бородій Ю.П., Назарук Т.О.

Ефективність застосування активних сил тертя при прямому та
зворотньому видавлюванні

85

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ПЛАСТИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МАШИНОБУДУВАННЯ

СЕКЦІЯ 1

UDC 621.777.4

Finite element simulation to analyze forming characteristics in radial extrusion process

P.B.Abhari¹, O.G.Malii¹, O.Yu. Chepelenko¹, K.I. Kotsiubivska²¹Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine²Kyiv National University of Cultural and Arts, Kyiv, Ukraine

Abstract: The single-ended radial extrusion process with mandrel by the rigid-plastic finite element method (FEM) to investigate the forming characteristics is considered. It is seemed that the tubular billet is rigid-plastic body and various tool parts are all rigid bodies and tubular billet and die tools temperatures are room temperature. The billet material has been used for the simulation is AA 6060 aluminum alloy. Based on the finite element simulations by using two-dimensional QForm software, deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress, and the relative pressure on the punch vs. chamfer angle on the tool with different relationships such as R/t and h/t have been investigated.

Keywords: radial extrusion, finite element method, material Flow, relative pressure, effective strain and stress

In the manufacturing of high volume parts with different and complex geometrical parameters, extrusion process especially cold state provides better economical and technical results than compared to other various manufacturing process. Some of these results are precision parts, near net shape quality, excellent surface finished, and reduce the cost and time of process design [1–3]. In the cold extrusion process the cylindrical solid or tubular billet is located in the die cavity and is squeezed by multiple rams. The billet is compressed with one or two opposite rams movement and the billet material fills the die cavity [4, 5]. Schemes of radial extrusion on a mandrel with one-sided supply of metal during the forming process were studied in works [3–5]. In the cold extrusion process is used different theoretical method such as energy method of power balance [2, 5, 6], upper bound method [3] and finite element method [7, 8]. In recent years, to design and analysis of cold extrusion process finite element method has more application in manufacturing industries and also this method is used a direct iteration and Newton-Raphson methods to solve the nonlinear equations.

In this paper, based on the finite element simulation by using QForm 2D software to analyze, forming characteristics such as deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress and power mode of deformation in single-ended.

The die scheme with axisymmetric tubular billet and finite element simulation for single-ended radial extrusion process are shown in Fig. 1. The die geometry parameters, axisymmetric tubular billet dimensions and power mode parameters are as follows: R_0 – the outer radius of tubular billet ($R_0 = 27\text{mm}$), R_1 – the inner radius of tubular billet or the radius of mandrel ($R_1 = 9\text{mm}$), R – the outer radius of flange or formed part ($R = 45\text{mm}$), R_i – the intermediate flange radius, L – the billet height ($L = 100\text{mm}$), h – the flange height ($h = 11.7\text{mm}$), $t = R_0 - R_1$, h/t – the relative flange height, α – chamfer angle on the tool, V – punch velocity ($V = 1\text{mm/s}$), P – punch load, μ – The friction factors

between the billet and tools are constant (Zibel's law, $\mu=0.08$). The billet material has been used for the simulation is AA 6060 aluminum alloy.

During the simulations by commercial software for plastic deformation such as QForm2D, it is seemed that the tubular billet is rigid-plastic body and various tool parts are all rigid bodies. In the radial extrusion processes with mandrel, tubular billet and tooling temperatures are room temperature.

The material flow behavior and the influence of various factors in radial extrusion processes with mandrel were explored. Deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress in single-ended radial extrusion process with mandrel (Fig. 1) by using relationship $h/t=0.65$ are shown. It can be seen that the effective strain and stress of the billet were symmetrical distributed in the processes. It is observed in these figures that the maximum effective strain and stress in a relationship $R_i/t=2.25$ are calculated as follows: $\varepsilon_{i \max} = 1.0$, $\sigma_{i \max} = 200\text{MPa}$ in single-ended radial extrusion process with mandrel (Fig. 1).

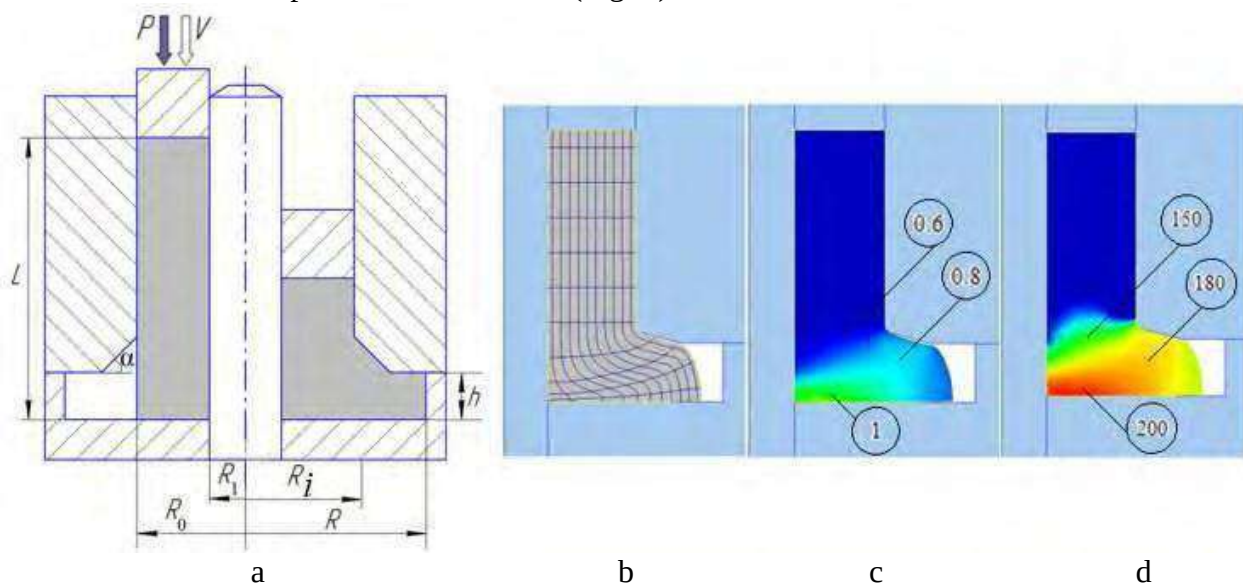
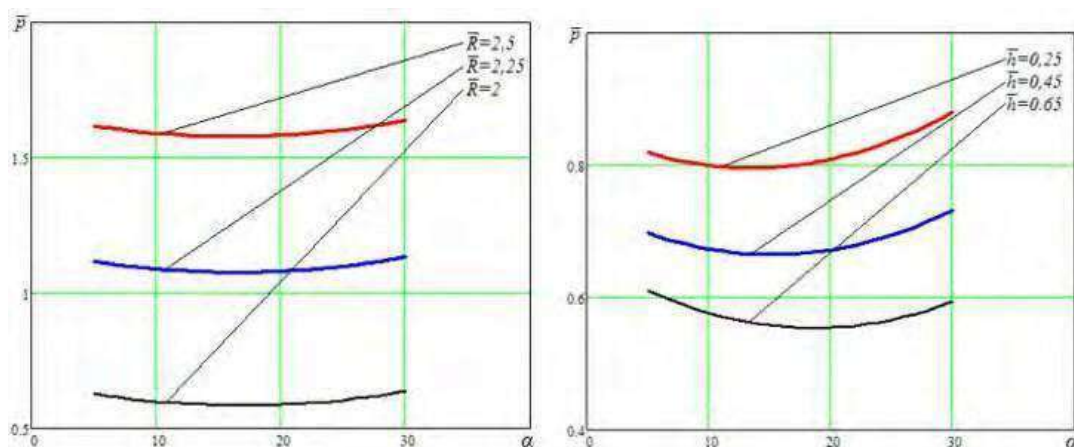


Fig. 1 – Single-ended radial extrusion process with mandrel: a – die scheme, b – deformation patterns or gridlines distortion, c – distributions of effective strain, d – distributions of effective stress

The relative pressure on the punch vs. chamfer angle on the tool with different relationships such as R_i/t and h/t in single-ended radial extrusion process with mandrel has been investigated by finite element simulation. The determined results have been shown in figure 2.



a b

Fig.2 – The relative pressure vs. chamfer angle on the tool in single-ended radial extrusion process with mandrel by different relationships: a – R_i/t , b – h/t

The comparison of relative pressures between different relationships, R_i/t and h/t in figure 2 show that for a constant value of chamfer angle on the tool relative pressure will be increase for increasing R_i/t and for decreasing h/t . This is because the material flows in die cavity filling occur hardly.

References

1. Aliieva L.I., Tahan L.V. Resource-saving processes of cold extrusion: Guide for students of specialties 131- "Applied Mechanics", 136- "Metallurgy". Kramatorsk: DSEA. 2020. 180 p. ISBN 978-966-379-927-8. (Ukr.).
2. Predicting the shape formation of hollow parts with a flange in the process of combined radial-reverse extrusion. N. Hrudkina, L. Aliieva, O. Markov, I. Marchenko, A. Shapoval, P. Abhari, M. Kordenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*. 2020. 4. 1 (106), pp. 55-62.
3. Aliieva L.I., Malii K.V., Tahan L.V. Improving the processes of cold extrusion of hollow parts: monograph Kramatorsk: DSEA. 2020. 255 p. ISBN 978-966-379-960-5. (Rus.).
4. Aliev I.S. Radial extrusion process. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo)*. New York: Allerton Press. 1988. Part 3, pp. 54–61. ISSN: 0891-334x.
5. Aliiev I.S., Hrudkina N.S., Malii H.V., Tahan L.V. Modeling and development of precision volumetric extrusion stamping processes: monograph. Kramatorsk: DSEA. 2021. 208 p. ISBN 978-617-7889-08-2. (Ukr.).
6. Hrudkina N., Aliieva L., Abhari P., Markov O., Sukhovirskaya L. Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 2. 5/1 (101), pp. 49–57.
7. Abhari Payman. Computer-aided simulation to investigate material flow in combined-radial extrusion. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*. 2018. 4. 2, pp. 24–28.
8. Abhari P., Malii K., Tahan L., Chepelenko O. The use of finite element simulation to investigate power modes of deformation in radial extrusion process. *Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Modern technologies of the industrial complex - 2021"*. Kherson: KhNTU. 2021. No7, pp. 41–43.

Аналіз формоутворюючих характеристик процесу радіального видавлювання на основі скінченно-елементного моделювання

П.Б. Абхарі¹, О.Г. Малій¹, О.Ю. Чепеленко¹, К.І. Коцюбівська²

¹Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

²Київський національний університет культури і мистецтв, м. Київ, Україна

Анотація: Розглянуто радіальне видавлювання на оправці з односторонньою подачею методом скінченних елементів (МСЕ) для дослідження характеристик формоутворення. Трубчаста заготовка являє собою жорстко-пластичне тіло, різні частини інструменту є твердими тілами, температура трубчастої заготовки і штампів відповідає кімнатній температурі. Матеріал заготовки, використаний при моделюванні, алюмінієвий сплав АА 6060. На основі моделювання методом скінченних елементів з використанням двовимірного програмного забезпечення QForm, були досліджені моделі деформацій (викривлення ділячної сітки), розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i , розподіл інтенсивності напружень σ_i , а також зміна приведеного тиску на пуансоні в залежності від кута фаски на інструменті з різними геометричними співвідношеннями, такими як R_i/t та h/t .

Ключові слова: радіальне видавлювання, метод скінченних елементів, течія матеріалу, приведений тиск, інтенсивність напружень і деформацій

УДК 621.777.4

Вплив контактного тертя на формоутворення порожнистих деталей при видавлюванні

Л.І. Алієва¹, В.М. Левченко², О.Є. Марков¹, Х.В. Малій³

¹Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

²Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна

³ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна

Анотація: В роботі подано аналіз варіантів використання сил контактного тертя при видавлюванні. Методами верхньої оцінки і скінченних елементів виконано оцінку ролі сил контактного тертя на характер формоутворення порожнистої деталі при видавлюванні. Показано, що корисне застосування активних або реактивних сил тертя при видавлюванні дозволяє уникнути відхилень форми деталей у вигляді утягнень. Наведено приклад діаграми для встановлення небезпечних зон з параметрами появи утягнень.

Ключові слова: видавлювання, контактне тертя, порожнисті деталі, метод верхньої оцінки, формоутворення.

Способи поздовжнього (прямого та зворотного) і поперечного радіального видавлювання є поширеними методами отримання порожнистих деталей типу стаканів, гільз та втулок різних типорозмірів [1]. Процеси видавлювання демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва точних заготовок, розширення номенклатури деталей і матеріалів, що штамнуються, посилення процесів формозміни новими способами деформування.

До факторів, що обмежують можливості видавлювання, можна віднести, крім високих питомих сил деформування, складний напружено-деформований стан деталей, обумовлений нерівномірною течією металу при об'ємному пластичному деформуванні. Це може супроводжуватися відхиленням форми деталей або руйнуванням заготовки, що викликає зниження якості та властивостей деталей, що виготовляються [2].

Процесам об'ємного штампування та видавлювання характерні високі показники контактних тисків, ступені оновлення поверхні заготовки та швидкостей ковзання металу, що деформується. При цьому частка невірних, тобто контактних з інструментом поверхонь заготовки, дуже значна, що визначає залежність виду напружено-деформованого стану, характеру заповнення порожнини або витікання металу, а також формування структури та поверхні виробів від умов контактного тертя. Від достовірного визначення та завдання граничних умов на контактних поверхнях значною мірою залежить точність результатів теоретичного аналізу силових та деформаційних режимів процесів формозміни [3, 4].

Слід зазначити також, що, незважаючи на складність визначення та завдання умов контактного тертя, використання тертя у технологічних цілях стало одним із ефективних напрямів інтенсифікації процесів об'ємного пластичного деформування [1, 2, 5].

Мета роботи – систематизація варіантів використання сил контактного тертя для керування технологічними режимами процесів видавлювання.

Для визначення ролі контактного тертя на формоутворення порожнистих деталей при видавлюванні використані методи верхньої оцінки, скінченних елементів та фізичного моделювання. У ході дослідження розглянуто способи використання сил контактного пластичного тертя для інтенсифікації режимів видавлювання (рис. 1). Для зниження питомих та повних навантажень перспективними є способи зворотного видавлювання з активним тертям [6], що створюється за рахунок кінематики, що регулюється переміщення інструментів. Способи реалізовані в штампах з матрицею (схема 1) або з рухомим

контрпуансоном, який переміщується односпрямовано з пуансоном з меншою швидкістю (схема 2). Для управління якістю деталей, що штампуються, і підвищення граничного ступеня формозміни заготовки за рахунок підвищення рівня гідростатичного тиску в осередку деформації корисно використання сил реактивного тертя, спрямованого проти течії металу [7]. Для цього при зворотному видавлюванні матриця переміщується вниз однонаправлено з пуансоном, але, як правило, з іншою швидкістю, що регулюється.

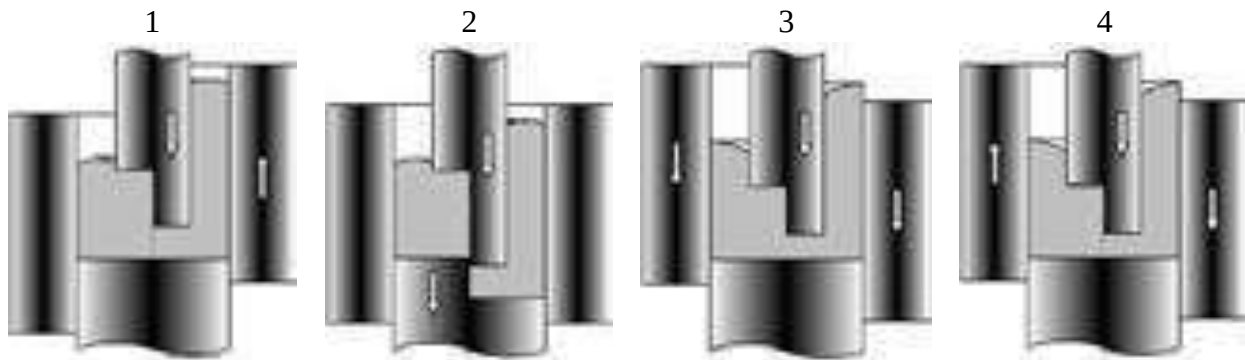


Рис. 1. Способи застосування сил контактної тертя у процесах видавлювання порожнистих деталей

При односпрямованому постійному впливі силами тертя на поверхні заготовки виникають мікротріщини. Зміна напрямку такого впливу сприяє заліковуванню таких поверхневих дефектів. Тому спосіб видавлювання з реверсивним тертям може бути ефективним при холодному деформуванні (схема 4) [8].

При формоутворенні порожнистих деталей методами холодного видавлювання відбуваються характерні відхилення форми деталей у вигляді утягнень. При зворотному видавлюванні стакану і прямому видавлюванні втулки утягнення у вигляді відхилення металу від торців пуансона спостерігається на заключних стадіях процесу (рис. 2, схеми 1, 3). Радіальне видавлювання щодо товстих фланців на кінці або в середній частині трубчастої заготовки супроводжується утворенням утягнення в зоні фланця (рис. 2, схема 2).

Розрахункова схема для аналізу енергетичним методом верхньої оцінки процесу утворення утягнення при осесиметричному поздовжньому видавлюванні представлена на рис. 2 (схема 3). За цією схемою видавлювання стійкому протіканню процесу відповідає рівність нулю значення утягнення $a(y)$, а умова запобігання утягнення полягає у виконанні нерівності [1] $\bar{p}_{(y=0)} \leq \bar{p}_{(y>0)}$. Після побудови кінематично можливого поля швидкостей, обчислення потужностей, що входять до рівняння енергетичного балансу, з останнього знаходять тиск видавлювання: $\bar{p} = p/\sigma_s$, [9]. Провівши математичний аналіз приведенного тиску деформування для побудованих полів швидкостей $\partial p / \partial y = 0$, отримують розрахункову залежність для можливої величини відносного утягнення $y^- = y / H$. Далі, прирівнюючи до нуля отриманий для визначення відносного утягнення вираз ($y^- = 0$), можна знайти співвідношення між технологічними параметрами, при яких ймовірно утворення утягнення.

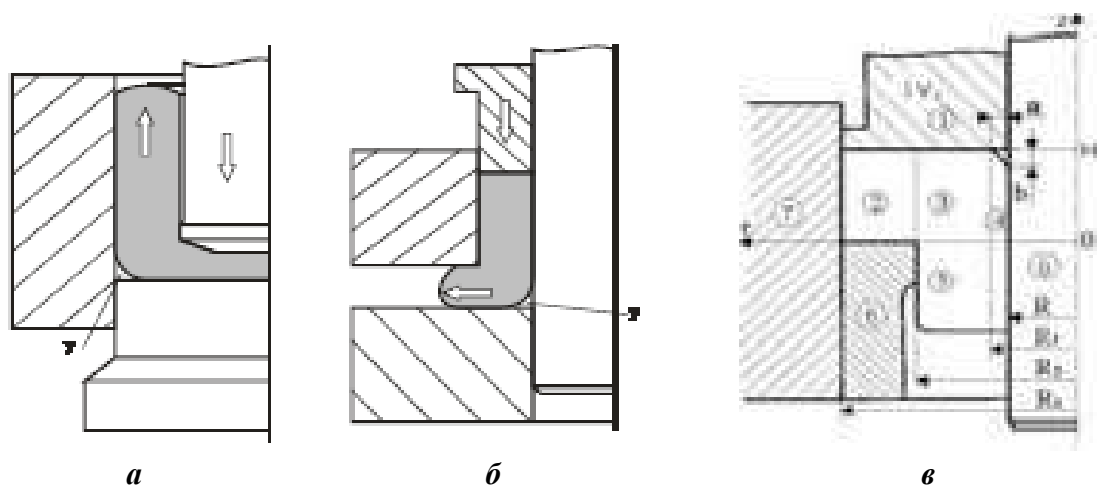


Рис. 2. Утворення утяжин при зворотному (а) та радіальному (б) видавлюванні та розрахункова схема з полем швидкостей при прямому видавлюванні втулки (в)

При зменшенні відносної товщини фланця втулки, що видавлюється, розмір утягнень по ширині a і по висоті b будуть збільшуватися. Розміри по висоті b можна визначити з умови наростання швидкості витікання V_e з осередку деформації зі збільшенням ширини утягнення a . Залежність висоти виникнення утягнення $\bar{H}_0$ від параметрів процесу та залежності відносних розмірів утягнення від товщини фланця наведено на рис. 3. Орієнтовно, початку утворення утягнення відповідає значення співвідношення товщини фланця та стінки втулки $h/s=1,0$. Зі збільшенням коефіцієнта тертя знижується товщина фланця (дно стакану) H_0 , що відповідає початку утворення утягнення, тобто тертя металу на поверхні оправки (або на стінках матриці при видавлюванні стакану) на вихідній ділянці служить перешкодою виникненню утягнення.

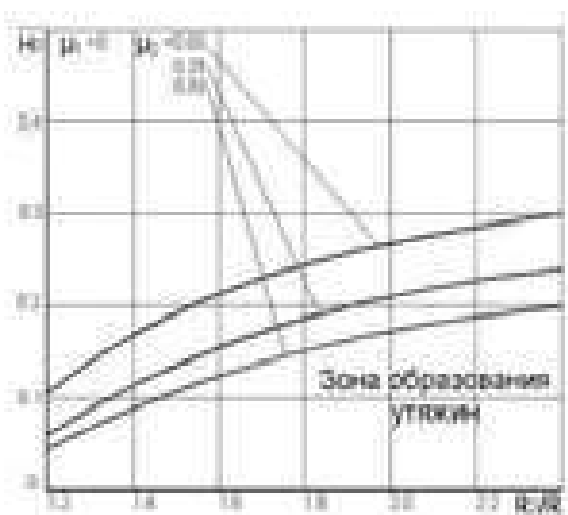


Рис. 3. Залежність критичної товщини фланця від відносного радіуса порожнистої частини, що видавлюється, і умов тертя.

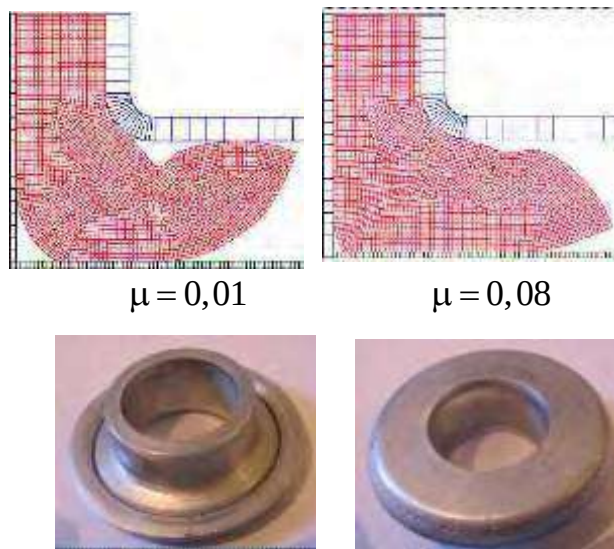


Рис. 4. Спотворення форми фланця при мінімальних силах контактного тертя

При МСЕ – моделюванні у Qform-2D використані реальні розміри зразків та інструменту [10]. В якості зв'язку напружень з деформацією використана кусочно-лінійна апроксимація залежностей $\sigma_i - \varepsilon_i$ для сплаву АМц-М. Значення коефіцієнта тертя у контакті інструмент – зразок прийняті залежно від використаного мастила і змінювалися у межах $\mu = 0,01 \dots 0,1$, встановлених за експериментальними даними [4]. Аналіз отриманих результатів показав такі самі закономірності появи утягнення, як і отримані енергетичним методом. Вплив сил тертя на критичні величини параметрів суттєвий, а комп'ютерні та фізичні експерименти це демонструють дуже наочно. Навіть при незначному зростанні величини коефіцієнта тертя (з 0,01 до 0,08) модель демонструє можливість усунення спотворення форми фланця, що спостерігається й експериментально (рис. 4).

Висновки. Фактор контактного тертя відіграє значну роль не тільки в силовому режимі, але також може бути використаний для управління формозміною заготовки та попередження появи дефектів форми деталей. З ролі тертя випливає практичний висновок: активне тертя на поверхнях контакту заготовки з матрицею може не дозволити видавлювати деталі з відносно тонким фланцем або дном. Реактивне тертя, що здійснюється переміщенням оправки в напрямку, протилежному до течії металу, може запобігти утворенню утяжин у порожнистих деталях. Реверсивне (знакоперемінне по ходу процесу) контактне тертя вимагає поглибленого вивчення, як спосіб активного управління режимами процесів видавлювання, що забезпечує якісне формоутворення деталей.

Influence of contact friction on the shaping of hollow parts during extrusion

L.I. Aliieva, V.M. Levchenko, O.E. Markov, Kh.V. Malii

Abstract: The paper presents an analysis of the options for using contact friction forces during extrusion. The upper bound and finite element methods are used to evaluate the role of contact friction forces on the nature of forming a hollow part during extrusion. It is shown that the useful use of active or reactive friction forces during extrusion makes it possible to avoid deviations in the shape of parts in the form of sinks. An example of a diagram for establishing hazardous areas with the parameters for the appearance of sinkholes is given.

Key words: extrusion, contact friction, hollow parts, upper bound method, shaping.

Список літератури

1. Алиева Л.И., Малий К.В., Таган Л.В. Совершенствование процессов холодного выдавливания полых деталей: монография Краматорск. 2020. 255 с. ISBN 978-966-379-960-5
2. Алиева Л.И. Управление формообразованием деталей с фланцем при холодном выдавливании. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2016. 30 (1202). С. 13–20.
3. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справочник. Москва: Металлургия. 1982. 312 с.
4. Алиев И.С., Крюгер К. К вопросу изучения контактного пластического трения. *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні* Краматорськ : ДДМА. 2002. С. 112–120.
5. А.с. 614877 СССР. В21 К 21/08. Способ получения полых изделий с фасонной боковой поверхностью. И.С. Алиев, К.Н. Богоявленский. № 2188373/25-27. Заявл. 10.11.75. Открытия. Изобретения. 1978. № 26.
6. Яшайев С.Ш. Основы дифференцированного выдавливания. Кузнечно-штамповочное производство. 1966. 9. С. 4–6.
7. А.с. 326997 СССР, МКИ В21 J 5/12. Способ выдавливания изделий. Е.И.Семенов, А.Г.Овчинников. № 1444674/25-27. Заявл. 03.07.70. Открытия. Изобретения. 1972. № 5.
8. Пат. 67977 А Україна, В21К21/00. Спосіб видавлювання порожнистих деталей. І.С. Алієв, І.Г. Савчинський, Л.І. Алієва, К.І. Сівак. №2003077078; Заявл. 28.07.2003, Опубл. 15.07.2004. Бюл. № 7.
9. Aliiev I., Aliieva L., Grudkina N., Zhbakov I. Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion. *Metallurgical and Mining Industry*. 2011. 3. 7, pp. 17–22.
10. Алиева Л.И., Гуменюк Ю.И., Усманов Д.В. Прогнозирование отклонений формы деталей при холодном выдавливании. *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів*. Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. С. 515–520.

УДК 621.777.4

Силові параметри комбінованого видавлювання порожнистих конічних деталей

І.С. Алієв¹, В.Л. Калюжний², В.М. Левченко³, О.Г. Малій¹

¹Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

²Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

³Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна

Анотація: Метою роботи є визначення особливостей силового режиму комбінованого видавлювання конічних деталей. МСЕ моделюванням встановлено поетапний характер зміни сили комбінованого зворотно-прямого видавлювання в процесі деформування і вплив на це умов тертя на контактних поверхнях пуансону і матриці. Виявлена можливість зменшення найбільш енергоємної заключної стадії зворотного видавлювання з характерно різким зростанням силових параметрів. Встановлено, що основними параметрами впливу є умови тертя, схема деформування і значення кутів нахилу твірних інструментів.

Ключові слова: комбіноване видавлювання, порожнисті конічні деталі, МСЕ, силові параметри.

Способи поздовжнього (прямого та зворотного) видавлювання є поширеними методами отримання порожнистих деталей типу конічних склянок і чашок різних типорозмірів, які поширені в машинобудуванні. [1-3].

Пряме видавлювання з роздачею конічних деталей (рис.1, а) привертає велику увагу дослідників, оскільки через різнойменну схему напруженого стану вимагає менших сил деформування [3, 4]. Однак деформовність заготовок за даною схемою може бути низькою через те, що на кромці деталі діє окружне напруження розтягу. Спосіб зворотного видавлювання конічних деталей (рис.1, б) є найбільш енергоємним процесом, що обумовлено інтенсивною односпрямованою течією металу в умовах всебічного стиснення та значного контактного тертя [2, 3, 5]. До факторів, що обмежують можливості зворотного видавлювання, можна віднести, крім високих питомих сил деформування, нерівномірну течію металу при деформуванні та відхилення форми деталей [3, 5].]. До того ж у цьому процесі стійкість заготовки недостатня, що зумовлює появу різностінності деталей [1, 2, 5]. Перспективним методом штампування конічних деталей може бути комбіноване зворотно-пряме видавлювання, що дозволяє помітно знизити енергосилові витрати на процес деформування, досягти найбільш точних розмірів та покращити якість виробів, що отримуються [6, 7]. Для нової схеми комбінованого видавлювання характерно розміщення вихідної конічної заготовки у верхній частині порожнини матриці (рис.1, г) [8]. Вихідна заготовка 1 встановлюється в матриці 2, в якій розміщений виштовхувач 3 і виконується деформування з докладанням зусилля пуансоном 4. В результаті впливу інструментів. При деформуванні такої заготовки отримують порожнистий виріб 5, верхній торець якої формується за рахунок роздачі.

Метою роботи є визначення за допомогою методу скінченних елементів параметрів процесу комбінованого прямо-зворотного видавлювання конічного порожнистого стакану.

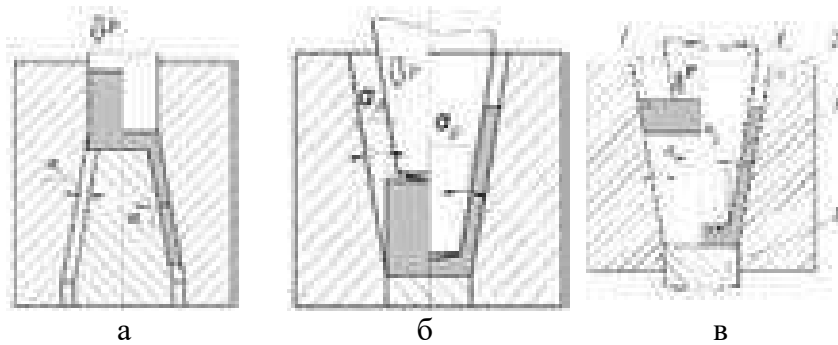


Рис. 1. Способи видавлювання конічних порожнистих деталей

При МСЕ – моделюванні у QForm-2D процесу комбінованого видавлювання прийнятий варіант з розташуванням заготовки у верхній частині матриці (рис. 2). Як зв'язок напруги з деформацією використана апроксимація залежності $\sigma_i - \varepsilon_i$ для сплаву АД1. Значення коефіцієнта тертя на поверхнях матриці та пуансону задані згідно із законом Зібеля і рівні $\mu_{sm} = \mu_{sn} = 0,08$.

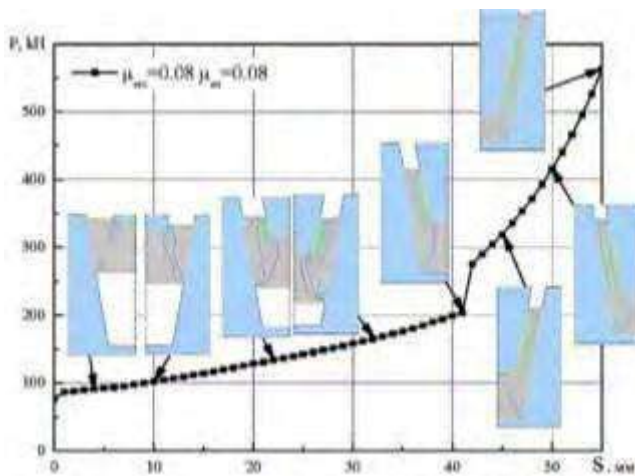
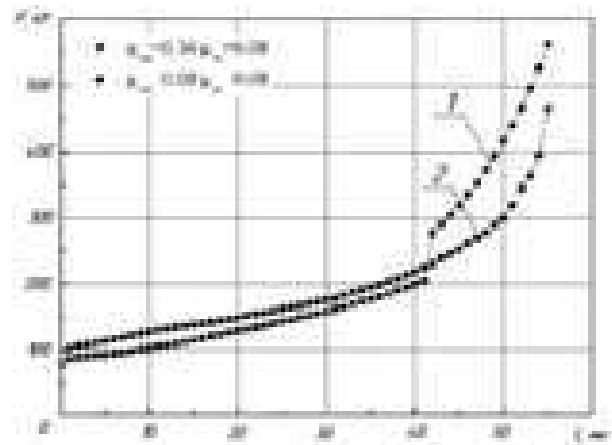


Рис. 3. Характер зміни сили видавлювання Р по ходу пуансону S

Рис. 2. Зміна сил видавлювання в залежності від ходу процесу і умов контактного тертя: 1 – $\mu_{sm} = 0,36$, $\mu_{sn} = 0,08$, 2 – $\mu_{sm} = \mu_{sn} = 0,08$

У результаті проведених досліджень процесу комбінованого зворотно-прямого видавлювання було встановлено, що зміна сили видавлювання нерівномірно (див. рис. 2). На графіку можна назвати три основні стадії процесу видавлювання. На першій стадії відбувається збільшення сили видавлювання за рахунок розпресування вихідної заготовки. На другій, псевдостационарній стадії процесу спостерігається плавне і безперервне збільшення сили комбінованого видавлювання. При цьому сили тертя, що виникають між пуансоном і заготовкою, сприяють прямому видавлюванню, а сили тертя між матрицею та заготовкою – зворотному. Третя стадія, яка починається з дотиком нижнього торця напівфабрикату з контрпуансоном, характеризується різким стрибком силових параметрів. На цій стадії комбіноване видавлювання замінюється більш енергоємним зворотним видавлюванням.

Виявлення коефіцієнтів тертя, які призведуть до виключення кінцевої стадії зворотного видавлювання при обраній схемі технологічного процесу, провели шляхом послідовного перебору з оцінкою формозміни та зміни сили видавлювання. Аналіз зміни сили видавлювання в процесі зворотно-прямого видавлювання порожнистих конічних

деталей показав, що зі збільшенням коефіцієнта тертя на матриці до 0,36 кінцеве значення сили видавлювання менше, ніж при коефіцієнті тертя на матриці 0,08. Це пояснюється відсутністю кінцевої стадії як зворотного видавлювання (рис. 3). При цьому аналіз формозміни заготовлі показав, що протікання процесу в режимі комбінованої течії при «залипанні» зовнішньої стінки склянки (за рахунок сил тертя) на поверхні матриці супроводжується зростанням зсувної компоненти деформації.

Вплив форми вихідної заготовки (циліндр, куля, конус) показало перевагу конічної форми [7]. Кути нахилу торця пуансона впливають на силовий режим незначно, а вплив кутів інструментів, що утворюють, на силові параметри вимагає поглибленого вивчення.

Висновки. В результаті аналізу процесу комбінованого зворотно-прямого видавлювання конічних стаканів встановлено, що реалізація процесу комбінованого зворотно-прямого видавлювання можлива без кінцевої стадії зворотного видавлювання при збільшеному коефіцієнті контактного тертя на матриці. Основними параметрами впливу в даному процесі є кути нахилу твірних матриці та пуансона, умови контактного тертя, а також форма та розміри заготовки, що визначають її вихідне положення у порожнині матриці.

Force parameters of combined extrusion of hollow conical parts

I.S. Aliiev¹, V.L. Kaliuzhnyi, V.M. Levchenko², O.G. Mali¹

¹Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

²O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Abstract: The aim of the work is to determine the features of the power mode of combined extrusion of conical parts. MSE modeling established the stepwise nature of the change in the force of the combined reciprocating extrusion during the deformation process and the influence of friction conditions on the contact surfaces of the punch and die. The possibility of reducing the most energy-intensive final stage of reverse extrusion with a sharp increase in power parameters is revealed. It has been established that the main parameters of the impact are the friction conditions, the deformation scheme and the value of the inclination angles of the generating tools.

Key words: combined extrusion, hollow conical parts, finite element method, force parameters.

Список літератури

1. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням: монографія. Краматорськ: ДДМА. 2021. 208с. ISBN 978-617-7889-08-2
2. Алиева Л.И., Малий К.В., Таган Л.В. Совершенствование процессов холодного выдавливания полых деталей: монография. Краматорск. 2020. 255 с. ISBN 978-966-379-960-5
3. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. Москва: Машиностроение, 1983. 200 с.
4. Kalyuzhnyi V. L., Aliieva L. I., Kartamyshev D. A., Savchinskii I. G. Simulation of cold extrusion of hollow parts. *Metallurgist*. 2017. Vol. 61, I. 5-6, pp. 359–365. <https://doi.org/10.1007/s11015-017-0501-1>.
5. Aliiev I.S., Gnezdilov P.V. Comparative analysis of methods for extrusion of hollow conical parts. *XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»*: Series: Monografie. No 56. Częstochowa. 2016, pp. 179–182.
6. Алиев И.С., Корденко М.Ю., Самоглядов А.Д. Комбинированное выдавливание полых конических деталей. *Обработка материалов давлением*. Краматорск : ДГМА, 2018. № 2 (47). С. 90-95.
7. Алиев И.С., Гнездилов П.В. Комбинированное выдавливание полых конических деталей из заготовок различной формы. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА. 2015. 2 (41). С. 162-165.
8. Пат. 141858 Україна. Спосіб виготовлення деталей типу гільз. Алієва Л.І., Калюжний В.Л., Корденко М.Ю., Кузенко О.А., Самоглядов А.Д.. № u201911074; заявл. 11.11.19; опубл. 27.04.20, Бюл. № 8.

UDC 621.961.2

Study of the stamp for cutting bar sections with a differentiated clamp

S. G. Karnaukh

DSEA, Kramatorsk, Ukraine

Abstract: The goal of the work is the development and research of a stamp with a differentiated clamp of a rolled stock for cutting by shear. A new design of a stamp with a differentiated clamp of the rolled stock has been developed. In terms of their technical and economic indicators, these stamps meet or exceed the modern samples of similar punch tools. At the same time, in the process of vertical cutting, a constant position of the rolled stock axis is ensured. The transmission of force to the clamp through the rolled stock is excluded. The design of the stamp ensures its sufficiently high rigidity and relatively small overall dimensions. Based on the analysis of the mathematical model of a stamp with a differentiated clamp, the effective angles of force transmission to the clamp and the cutting of the rolled stock between the stamp parts have been established. The resulting model was used to optimize the angles of force transfer to the clamp and the cutting rolled stock, respecting the force from the side of a buffer and minimum required press force. At the same time, the vertical stroke of the moving parts is reduced, the overall dimensions of the stamp are decreased, and the buffer also has a minimum size. To reduce the required force of the press, it is necessary to reduce the value of a frictional slipping coefficient by using antifriction materials on contact surfaces and ensuring good lubrication conditions. The results of the conducted experiments confirm the adequacy of the mathematical model. The value of the required force on the press slide available from experiments is slightly higher than the values obtained by the developed analytical model. The results of the stamp implementation show that: the stamps are efficient and reliable in exploitation; the quality of the cutoff workpieces corresponds to the quality indicators of the workpieces cut on similar modern equipment.

Keywords: cutting by shear, differentiated clamp, stamp, wedge, rolled stock, workpiece, quality.

Mechanical engineering plays the leading role in social and economic development and is considered a foundation of the industry [1]. A great contribution to the finished cost of engineering products is made by the efficiency of workpieces production [1, 2]. The cutting of rolled stock into cut-to-length is the most demanded operation in the engineering industry, since the result of this operation is the production of workpieces, both for further metal forming and cutting [3]. The quality of workpiece faces influences the precision and surface quality of forged pieces [1]. Therefore, the need to increase the efficiency of the shearing operations is obvious, since it directly affects the cost of the finished product.

In production, more than ten methods of cutting rolled stock into cut-to-length are used. The most perspective is waste-free methods for cutting of the rolled stock. Waste-free methods include the cutting by a shear method, which is highly productive and economical [1, 3].

Considering the fact that millions of workpieces are produced every year, the task of the improvement of techniques and equipment used in rolled stock production is actually. This explains the scientists' and industrialists' interest in improving the method of cutting with a shear. Comprehensive studies of the waste-free methods for cutting rolled stock were widely carried out by many scientists in England, Germany, Japan, Ukraine, etc. [1, 2]. During this time, a large amount of information about the nature, mechanisms, and failure criteria was accumulated.

One of the main problems of equipment used for cutting processes is its work under conditions of a sudden drop in load. This effect leads to the press frame destruction and lay-up of the foundation and is accompanied by hydraulic impact initiation in the hydraulic system of the press, which is connected with cavitation [3]. It leads to choosing the high-power equipment.

Of the known schemes for cutting rolled stock by shear with an active cross clamp, the most advanced is a scheme of cutting with a «differentiated clamp». The fundamental difference between such cut-off schemes is that in them the clamping power of the rolled stock in knives is variable by value, and changes proportionately with the cutting force. At the moment of shearing cracks formation, the cutting force decreases to a minimum and, therefore, the cross clamp force decreases

proportionately with it. The workpiece gets the opportunity to move in the axial direction from the rolled stock, which excludes of defect formation at workpiece faces [1, 2].

Mathematical models for the selection of rolled stocks were developed in the work [3]. New technologies for the manufacture of the workpiece by cutting in stamps were proposed in the [3]. The main directions of process improvements to obtain the geometric accuracy of the workpieces are considered in the works [1]. The main directions of scientific research [2] were: creation favorable of metal stress state in the cutting zone; development of new designs of stamp and cutting tool.

Thus, the equipment and punch tools, where a differentiated clamp of rolled stock is implemented, provide a higher quality of cut workpieces. At the same time, there is a certain disproportion between the theoretical advances in the technology of cutting of the rolled stock with a differentiated clamp and the improvement of equipment for its implementation. This is caused by the disadvantages of design studies. First of all, because of the excessive overall dimensions of the stamps, it is necessary to choose the press not according to the required force, but according to the dimensions of the stamp space. Also, the low rigidity of stamps construction is a disadvantage [1, 2].

To simulate the processes of separating rolled stock into dimensional workpieces, various CAE systems are used, they are based on the finite element method: ANSYS, LS-DYNA, DEFORM 3D, QFORM. The mathematical modeling of multi-parameter destruction processes differs from real processes. The obtained results of finite element analysis allow the researcher to understand the main trends of the separation process and to obtain fairly accurate quantitative data concerning the distribution of temperature-velocity fields and tensor's components of stress-strain state [4].



Fig. 1 –Photo of the stamp with the differentiated clamp of the rolled stock

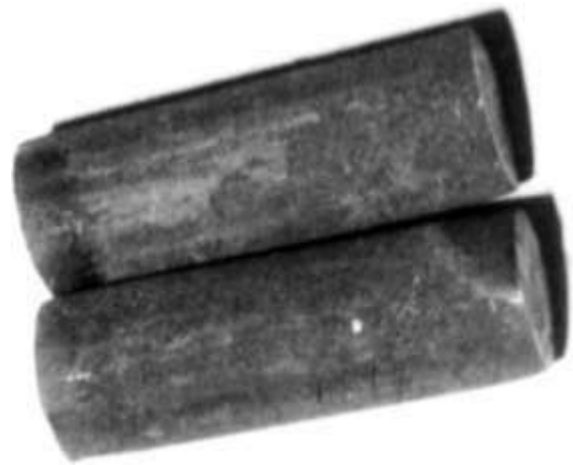


Fig. 2 – Workpieces of 37Cr4 steel cut in the stamp of new design

The goal of the work is the development and research of stamps with a differentiated clamp for cutting rolled stock by shear.

There are stamp designs with a differentiated clamp, which are developed, investigated, and introduced into production for cutting rolled products with a diameter of 50 mm (Fig. 1, 2) [5]. As compared to the known designs, in the proposed stamp, the cross dimensions and weight are reduced on average by 25% and the height of the open stamp space – by 10%.

The simulation process of cutting rolled stock according to the scheme of incompletely closed cutting with a differentiated clamp was carried out using the specialized software *DEFORM 3D*. The simulation was conducted for the rolled stock with a diameter of $d = 28 \text{ mm}$ and a length of $l = 75 \pm 0,5 \text{ mm}$ from steel 37Cr4 (ISO). To simulate the cutting process, the following parameters were set: knife movement speed – 0.65 m/s ; rolled stock temperature – 20°C ; material model – elastic-plastic (Normalized C&L); a number of elements – 300 000 pieces; Siebel friction – 0,35. The simulation results are shown in the Fig. 3.

The calculated maximum force of the rolled stock cutting was $F_p = 265 \text{ kN}$, which corresponds to the stroke of the upper knife $h = 7,2 \text{ mm}$.

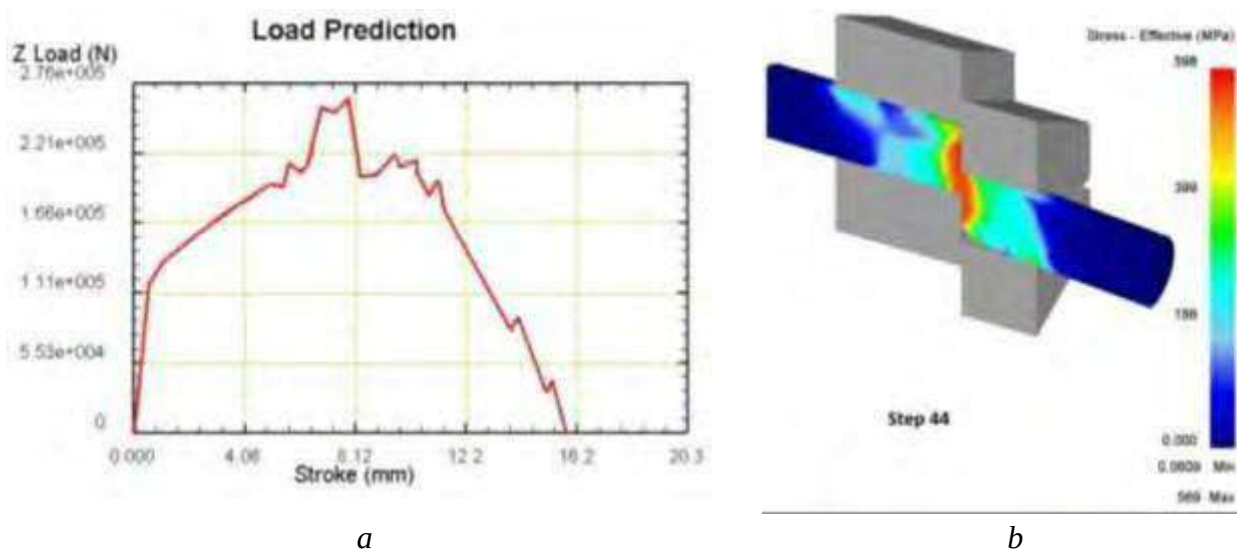


Fig. 3 – Cutting force vs the stroke of the knife (a) and the distribution of stresses elongate cross-section of rolled stock from steel 37Cr4 (b)

Conclusions.

1. According to their technical and economic indicators, the stamps of the new design are not inferior to modern samples of similar stamp equipment. Compared to known designs, the transverse dimensions and weight are reduced by an average of 25%, and the height of the open stamp space – by 10%. In the process of separation in the vertical plane, a constant position of the rolled axis is ensured. The transmission of force to the clamp through the rolled stocks is excluded. The stamp has high rigidity.

2. Based on the mathematical model analysis of a stamp with a differentiated clamp, the effective angles of force transfer to the clamp and the rolled segment between the stamp parts are established. At the angles of force transfer to the clamp and cutting of the rolled stocks: $\alpha = 27^\circ$; $\beta = 33^\circ$, the force from the side of the buffer has a minimum value $R_b \cong 10 \text{ kN}$ at the required press force $F_{pr} \cong 300 \text{ kN}$. Reducing the angle β is impractical due to a significant increase in the vertical stroke of the press, which predetermines the large overall dimensions of the stamp. In this case, the minimum value of the force R_b determines the minimum overall dimensions of the buffer. To reduce the required force of the press F_{pr} , it is necessary to reduce the coefficient of sliding friction by using anti-friction materials on the contact surfaces and ensuring good lubrication conditions.

3. The adequacy of the mathematical model has been confirmed experimentally. The 10% discrepancy is due to the fact that for theoretical calculations, the rolled material was selected from the Deform 3D steel base, which is as close as possible in mechanical properties to 37Cr4 steel but

still differs from it. Besides, it is necessary to more accurately take into account the value of the friction coefficient and its dependence on the relative velocities on the contact surfaces of the stamp parts.

4. The results of the stamp introduction at the Odessa Production Association «Stroigidravlika» show that: the stamps are efficient and reliable in operation; the quality of cut blanks corresponds to the quality indicators of blanks cut on modern similar equipment. In this case, it is necessary to ensure a zero gap between the knife's inserts.

5. The recommendations for designing stamps with the differentiated clamp of rolled stocks have been developed.

Дослідження штампа для розділення прокату з диференційним затиском

С. Г. Карнаух

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація: Метою роботи є розробка та дослідження штампу з диференційним затиском прокату для відрізання зсувом. Розроблено нову конструкцію штампа з диференційним затиском прокату. За своїми техніко-економічними показниками ці штампи не поступаються або перевершують сучасні зразки аналогічних штампів. При цьому в процесі вертикального розділення забезпечується постійне положення осі прокату. Передача зусилля на затиск через прокат виключена. Конструкція штампа забезпечує його досить високу жорсткість і відносно невеликі габаритні розміри. На основі аналізу математичної моделі штампа з диференційним затиском встановлено ефективні кути передачі зусилля на затиск і розрізання прокату між частинами штампу. Отриману модель використовували для оптимізації кутів передачі зусилля на затиск і ріжучий прокат, враховуючи силу з боку буфера та мінімально необхідну силу преса. При цьому зменшується вертикальний хід рухомих частин, зменшуються габаритні розміри штампа, а також мінімальний розмір буфера. Щоб зменшити необхідне зусилля преса, необхідно зменшити величину коефіцієнта ковзання при терті шляхом застосування антифрикційних матеріалів на контактних поверхнях і забезпечення хороших умов змащування. Результати проведених експериментів підтверджують адекватність математичної моделі. Значення сили відрізки, отримане з експериментів, децю перевищує значення, отримані за розробленою аналітичною моделлю. Результати впровадження штампа показують, що: штампи ефективні та надійні в експлуатації; якість відрізних заготовок відповідає показникам якості заготовок, вирізаних на аналогічному сучасному обладнанні.

Ключові слова: відрізка зсувом, диференційний затиск, штамп, клин, прокат, заготовка, якість.

References

1. Lisunets, N. L.: Usage of physical and mathematical simulation for improvement of the processes of metal shear cutting, CIS Iron and Steel Review, No 17, pp. 34–38, 2019.
2. Huang, G., Wang, J., Hsu, M., et al.: Application of mold trough design to blanking technology, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, No 88, pp. 1025-1034, 2017.
3. Karnaukh, S. G., Markov, O. E., Aliieva, L. I., et al.: Designing and researching of the equipment for cutting by breaking of rolled stock, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, No 109, pp. 2457-2464, 2020. doi: 10.1007/s00170-020-05824-7.
4. Zagirnyak, M., Zagirnyak, V., Moloshtan, D., et al.: A search for technologies implementing a high fighting efficiency of the multilayered elements of military equipment, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, No 6 (1-102), pp. 33-40, 2019.
5. Pat. 25552 A (Ukraine), MKI V 23 D23/00. Stamp for driving rolled products with a differentiated clamp / Roganov, L. L., Tarasov, O. F., Karnaukh, S. G. – Applied. 03.06.1997, Publ. 30.10.1998. – 4 p. (in Russian).

УДК 621.77.01

Experimental study of the influence of the temperature factor on the rolled's microrelief formation during the implementation of the warm deformation

T. O. Kulik, O. M. Kulik

DSEA, Kramatorsk, Ukraine

Annotation: In the work by physical modeling of indentation of a unit microroughness to the workpiece the influence of the temperature factor on the mechanism of rolled microroughness formation, in particular, on the printability coefficient was investigated. The experimental researches obtained made it possible to estimate the influence of temperature, material, indenter shape and a number of other factors on the resulting indices of rolled surface roughness during implementation of the process of warm deformation.

Keywords: rolling, temper rolling, surface, quality, microrelief, indenter, temperature, experimental study.

Background. In modern conditions, product quality is extremely important, because it determines the development of production processes and their efficiency. The quality level of rolled products is determined, among other things, by the state of the surface, because it is the microrelief that determines the technological features of further processing and operation, as well as the presentation of the product [1]. In particular, the microgeometry of the surface of sheet steel strips significantly affects the quality and strength of paint coatings, the limiting degree of drawing during stamping, the reflectivity of the metal, etc. [2]. Theoretical and experimental studies have shown that in the process of temper rolling, as at the final stage of the process, under certain conditions, the roughness of the rolls is almost completely imprinted to the strip.

The objective of this work is the study of factors affecting the printability coefficient (Fig. 1) to improve product quality during the implementation of the warm temper rolling process.

Methods. Experimental studies of the mechanism of surface roughness formation and the factors that affect it were carried out using a special device (Fig. 2), which provides physical modeling of the process of warm indentation of a complexprofile indenter into a workpiece [3].

Constructively, this installation included a lower fixed 1 and an upper movable 2 punches, interconnected by a guide bush 3. In the upper movable punch 2, a complexprofile indenter 4 was placed, which was introduced into the workpiece 5. A total of 12 indenters, different sizes and types (Fig. 3) with different configurations of the deforming surface, were used. Using lever 6, the upper movable punch 2 was connected to a linear displacement sensor 7 of a rheostat type.

The indentation force F_n was fixed with the help of a mesdoza 8, connected by the end surfaces of its annular element with the upper movable punch 2 of the considered device and the power punch 9 of the hydraulic press GP 70-5278, which ensured the movement of the upper punch 2 and the creation of this force.

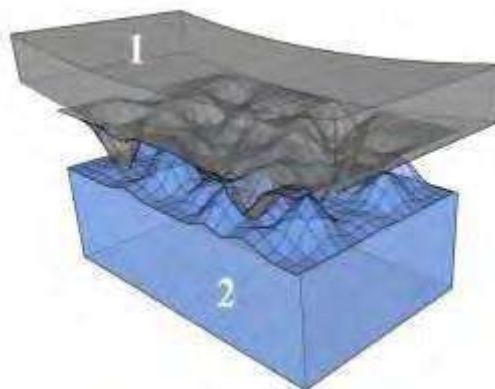


Fig. 1. Model of imprintability of the microrelief of the roll (1) on the strip (2)

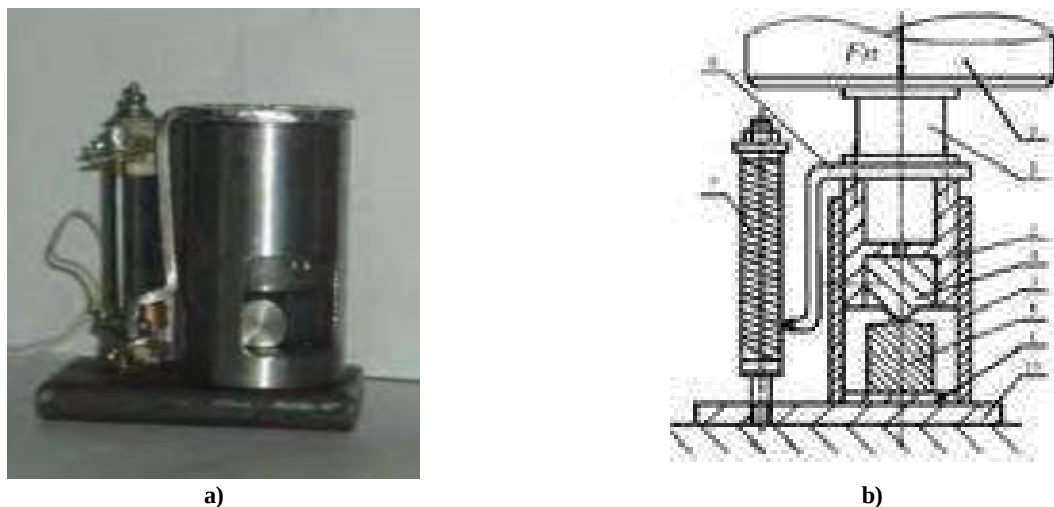


Fig. 2. External view (a) and principal drawing (b) of the device for experimental study of the complex-profile indenter's indentation process into a warm workpiece

The entire installation was placed on a single stand 10, which during the experiment was installed in the workspace of the aforementioned hydraulic press. The workpieces 5 were heated to the required temperatures in an oven immediately before their warm plastic deformation. The results obtained for workpieces made of steel 20 and steel 45 are shown in fig. 4.

In that option, the indentation force F_n was considered as an argument, which is created by the hydraulic press through the power punch 9, and the indentation depth h_n was taken as a function, which was measured by a linear displacement sensor 7 of a rheostatic type.

The results showed that with increasing force F_n , the indentation depth h_n of the indenter grows almost linearly. An increase, other things being equal, takes place in the case of an increase in the heating temperatures of the initial workpiece. In particular, with a force of $h_n = 30$ kN and an increase in temperatures from 20°C to 350°C, the indentation depth of the conical indenter increases from 3.13 mm to 4.05 mm, that is by 29%, for workpieces made of steel 20 and from 2.26 mm to 3.48 mm, that is 54%, for steel 45.



Fig. 3. Appearance and model of indenter's various types

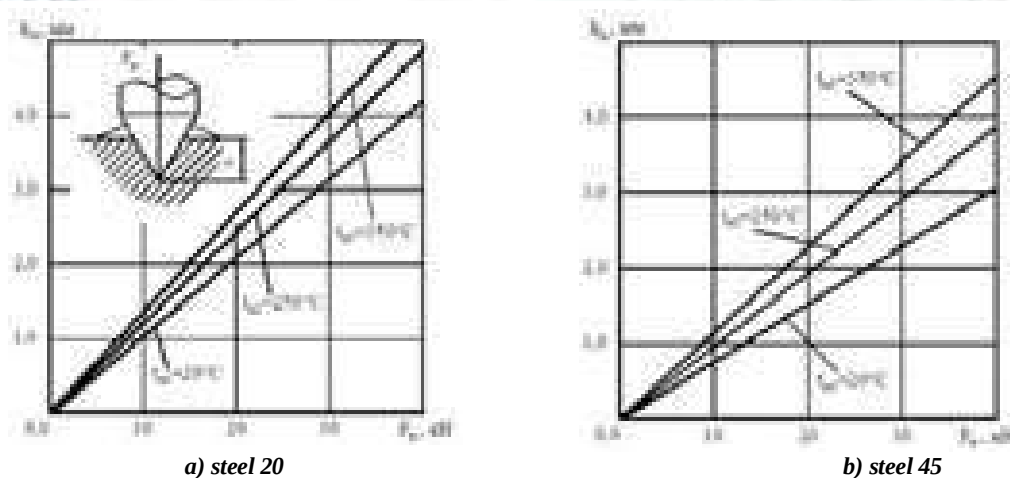


Fig. 4. Empirical depth h_n distributions depending on the indentation force F_n of a pyramidal indenter into a flat workpiece of steel 20 (a) and steel 45 (b), preheated to a temperature t_{n0}

Conclusions

An experimental study of the effect of temperature on the printability coefficient by physical modeling of the unitary microroughness's indentation was carried out. The results showed that with increasing force, the penetration depth of the indenter increases almost linearly. At that, when the heating temperature of the initial workpiece rises, the indentation intensity also increases. The above confirms the possibility of using the temperature factor in order to control the inprintion coefficient of the roughness of the work rolls, that is, in order to control the resulting surface roughness of the rolled product during the warm tempering process.

References

1. Thakur S.K., Das A.K., Jha, B.K. Effect of Warm Rolling Process Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of Structural Steels. *Trans Indian Inst Met.* 2022. No 75. P. 1509 –1524.
2. Dekrit H. Akbar, Purnami Purnami, Sugeng Prayitno Budio. Influence of Surface Roughness and Paint Coating on Corrosion Rate. *MECHTA. International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications.* 2020. P. 15 - 19.
3. Kulik T.A., Kulik N.A. Mathematical modeling of the mechanisms of formation of surface roughness during temper rolling in the mode of warm deformation. *Improvement of processes and equipment for pressure treatment in metallurgy and mechanical engineering.* 2007. P. 102 -107.

Експериментальне дослідження впливу температурного фактора на формування мікрорельєфу прокату при реалізації процесу теплового деформування

Т. О. Кулік, О. М. Кулік

Анотація: У роботі шляхом фізичного моделювання впровадження одиничної мікронерівності у заготовку досліджено вплив температурного чинника на механізм формування мікронерівності прокату, зокрема на коефіцієнт відбиття. Отримані експериментальні залежності дозволили оцінити вплив температури, матеріалу, форми індентору і ряду інших чинників на результуючі показники шорсткості поверхні прокату при реалізації процесу теплового дресування..

Ключові слова: прокат, дресування, поверхня, якість, мікрорельєф, індентор, температура, експериментальне дослідження.

УДК 621.321

Дослідження процесу осадження масивних профільованих заготовок при виготовленні деталей відповідального призначення

О.Е. Марков, В.Ю. Станков, А.С. Хващинський, А.В. Мусорін, В.В. Молодецький,
А.А. Лисенко

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація: У роботі проведено дослідження нового способу осадження крупних злитків після їх профілювання. На базі метода скінчених елементів (МСЕ) був визначений розподіл інтенсивності логарифмічних деформацій в повздовжньому перерізі після осадження профільованих на чотирипроменевий переріз заготовок. Моделювання МСЕ дозволило встановити формозмінення та розподіл напружень і деформацій в об'ємі заготовки у процесі осадження чотирипроменевих заготовок. Скінчено-елементне моделювання дозволило визначити, що ефективна глибина увігнутих граней повинна становити 15% від діаметра заготовки. При такій глибині увігнутих граней відбувається максимальне закриття внутрішнього дефекту.

Ключові слова: кування, осадження, внутрішній дефект, чотирипроменева заготовка, увігнуті грані, МСЕ, напруження що стискають.

В останні роки кількість масивних поковок, виготовлених зі злитків, збільшується. Це спричинено збільшенням потужності важких машин. Однак якість поковок не завжди відповідає вимогам замовника. Низька якість масивних поковок пояснюється низькою якістю вихідних злитків [1]. При куванні масивних поковок брак ультразвукового контролю (УЗК) досягає 10% [2]. Брак по УЗК пояснюється процесом осадження злитків з неоднорідною структурою. У результаті ця структура опрацьовується нерівномірно та недостатньо. Більш того, при осадженні циліндричних заготовок плоскими плитами відбувається збільшення розмірів осьової рихлості зливка. Аналіз процесів кування заготовок із застосуванням операції осадження дозволив встановити, що базова схема кування не гарантує подрібнення структури зливка та забезпечення заданих властивостей отриманих деталей [3]. При виробництві масивних поковок відповідального призначення дуже важливо забезпечити високу якість одержуваних заготовок. Якість масивних поковок визначається відсутністю внутрішніх та зовнішніх дефектів, а також рівномірністю механічних властивостей. Ці вимоги викликані тим, що заготовкою є масивний ковальський зливочок [4]. Масивні зливки характеризуються дефектами металургійного походження (осьова рихлість, усадочна раковина та ін.). Ці дефекти визначають низьку якість ковальських злитків.

Метою роботи є підвищення якості деталей відповідального призначення за рахунок заварювання внутрішніх дефектів на основі вдосконалювання операції осадження чотирипроменевих злитків.

Моделювання процесу осадження профільованих на чотирипроменевий переріз заготовок проводилося методом скінчених елементів (МСЕ). За результатами моделювання встановлювалися розподіл НДС поковки й формозміна осьового дефекту після осадження (рис. 1). Після профілювання всі заготовки осаджувалися на 50 %. Рівняння зв'язку компонент напружень і швидкостей деформацій

$$S_{ij} = \frac{2\sigma}{3\dot{\epsilon}} \dot{\epsilon}_{ij},$$

де $\dot{\epsilon}_{ij}$, σ_{ij} – компоненти швидкостей деформацій і напружень;

S_{ij} – компоненти девіатора напружень.

Крива течії матеріалу задана рівнянням $\sigma = \sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}, T)$,

де $\epsilon, \dot{\epsilon}, T$ – інтенсивності деформацій і швидкостей деформацій;

T – температура.

Заготовки для скінчено-елементного моделювання мали такі розміри (рис. 1): зовнішній діаметр заготовки $D = 1,5$ м, висота заготовки $H = 3,75$ м, діаметр отвору дефекту приймався 10 % від зовнішнього діаметру заготовки (0,15 м), кут граней заготовки становив 150° . Глибина увігнутих граней ($h = d/D$) досліджувалася в діапазоні 15 %, 20 % і 25 % від діаметра заготовки.

Матеріал – сталь 70ХЗГНМФ, температура нагрівання заготовки 1150°C , температура інструмента – 20°C , коефіцієнт тертя 0,45, сітка містить 75 000 елементів, швидкість деформування 35 мм/с.

На заковування дефектів у процесі осадження чотирипроменевої заготовки чинить вплив глибина увігнутих граней. У дослідженні використовувалися увігнуті грані з кутом 150° і відносною їхньою глибиною d/D , яка становила 25%; 20% і 15%. Ступінь заковування отвору після осадження профільованих чотирипроменевих заготовок на 50 % показано на рис. 2. За результатами моделювання було виявлено, що для розглянутих параметрів глибин граней відбувається заковування отвору в середній частині поковки. Ступінь заковування отвору більше для зразків з відносною глибиною граней 15%. Заготовки, профільовані на глибину 25%, показали гірші результати по закриттю осьового дефекту. Аналіз отриманих результатів дозволив установити, що відносна глибина граней більше 15 % не приводить до збільшення ступеня заковування дефекту. Після осадження чотирипроменевих заготовок з $d/D=15\%$ на 50 % відбувається заковування діаметра дефекту на 50 % (рис. 2).

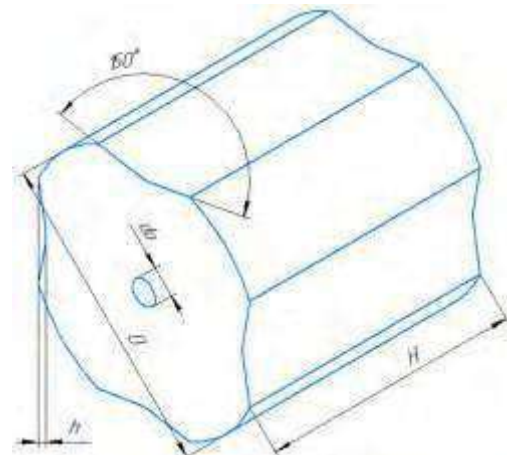


Рис. 1. 3D-модель профільованої заготовки на чотирипроменевий переріз

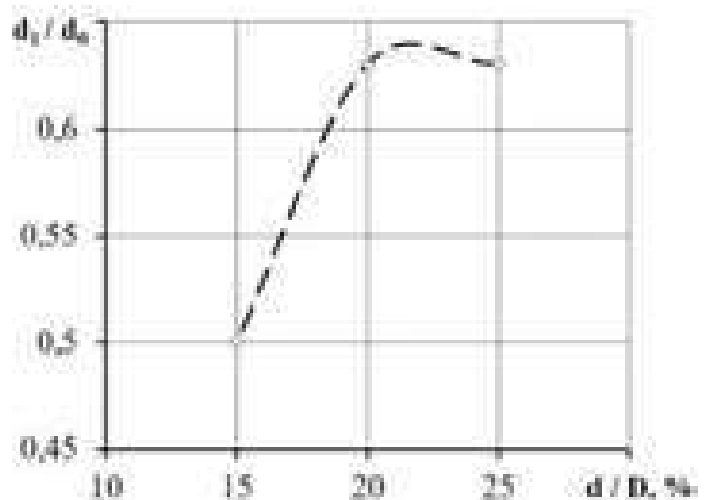


Рис. 2. Залежність відносного діаметра отвору в процесі осадження чотирипроменевих моделей з різною відносною глибиною граней

Розподіл логарифмічних деформацій у меридіональному перерізі поковки після деформації на 50% представлено на рисунку 3. Деформації з максимальною величиною розташовуються в центральній частині поковки, а з мінімальною – на плоских торцях поковки. Розподіл деформацій для різних параметрів заготовок із чотирипромічним перерізом має схожі результати. Але при осадженні чотирипроменевих заготовок із глибиною граней $d / D = 15\%$ площа деформацій з максимальною величиною більше на 35...45 % у порівнянні з іншими параметрами

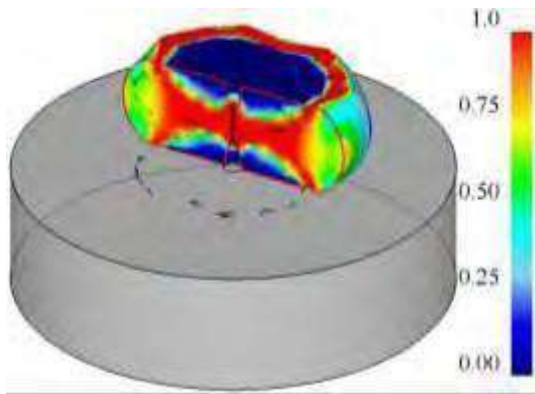


Рис. 3. Розподіл логарифмічних деформацій у процесі осадження чотирипроменевих заготовок ($d / D = 0.15$)

заготовок (рис. 3).

Дослідження заковування отвору при осадженні чотирипроменевих заготовок на свинцевих зразках перевірялись деформуванням зразків зі сталі 70ХЗГНМФ у гарячому стані. Нагрівання сталевих зразків проводилося до температури 1150 °С з подальшим їх протягуванням на чотирипроменевий переріз інструментом з клиновим профілем з кутом 150 ° зі ступенем деформації 20% та кантуванням на 90 ° (рис. 4). Після додаткового підігрівання заготовки здійснювалось осадження. Далі зразки охолоджувалися та розрізалися до місця розташування дефекту (рис. 4).



Рис. 4. Експериментальне дослідження на сталевих зразках

Висновки

Установлений вплив кута граней чотирипроменевих заготовок 150° на розподіл деформацій, напружень і заварювання внутрішніх дефектів після осадження. Заковування отвору починає відбуватися при деформації 10%. Максимальне заковування отвору відбувається після осадження на 65% при відносній глибині граней 15...20% від діаметра заготовки. Увігнуті грані глибиною 15% від діаметра заготовки після осадження на 55% приводять до виникнення в тілі заготовки стискаючих напружень. Розроблений новий науково-обґрунтований спосіб осадження чотирипроменевих заготовок, який підвищує якість масивних поковок. На основі проведених комплексних теоретичних досліджень розроблені рекомендації для проектування техпроцесів кування по нових схемах деформування. Розроблено новий науково-обґрунтований спосіб осадження чотирипроменевих заготовок, який підвищує якість крупногабаритних поковок. На основі проведених комплексних теоретичних і експериментальних досліджень розроблені технологічні та конструкторські рекомендації з проектування техпроцесів кування за новими схемами деформування і інструменту для профілювання злитків.

Список літератури

1. Markov O.E. Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting / O.E. Markov, M.V. Oleshko, V.I. Mishina // *Metalurgical and Mining Industry* [Online]. – 2011. – Vol. 3(7). – Pp. 87-90. – Mode of access: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf>
2. Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation / O.E. Markov, A.V. Perig, M.A. Markova, V.N. Zlygoriev // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2016. – Vol. 4, no. 83. – Pp. 2159-2174. – Mode of access: <http://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5>
3. Kalchenko P. P., Markov O. E., Aliiev I. S., Hrudkina N. S. Progressive technologies of forging large parts with responsible destination. Monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2022. 96 p
4. Markov, O. E., Khvashchynskyi, A. S., Musorin, A. V., Markova, M. A., Shapoval, A. A., & Hrudkina, N. S. (2022). Investigation of new method of large ingots forging based on upsetting of workpieces with ledges. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, doi:10.1007/s00170-022-09989-1
5. Zhbankov I.G., Markov O.E., Perig A.V. Rational Parameters of Profiled Workpieces for an Upsetting Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014, 72, pp. 865–872. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5727-5>

Study of the process of upsetting of massive profiled workpieces in the manufacture of important parts

O. Markov, V. Stankov, A. Khvashchynskyi, A. Musorin, S. Rovenskiy, V. Molodetskiy, A. Lisenko

Abstract: A study of a new method of upsetting large ingots after their profiling was made in this work. On the basis of the finite element method (FEM), the distribution of the intensity of logarithmic deformations in the longitudinal section after upsetting of billets profiled on a four-beam section was determined. The FEM simulation made it possible to establish the shape change and distribution of stresses and strains in the workpiece volume during upsetting of four-beam workpieces. Finite element modeling made it possible to determine that the effective depth of the concave faces should be 15% of the workpiece diameter. With such a depth of concave faces, the maximum closure of the internal defect occurs.

Keywords: forging, upsetting, internal defect, four-beam workpiece, concave faces, FEM, compressive stresses.

УДК 621.9.02

Зміна експлуатаційних властивостей пробивних пуансонів із швидкорізальної сталі Р6М5 після обробки в імпульсному магнітному полі

М.І. Кінденко

ДДМА, м. Краматорськ, Україна

Анотація: Робота присвячена дослідженню питань, пов'язаних з підвищенням експлуатаційних властивостей інструментів із швидкорізальних сталей шляхом магнітно-імпульсної обробки. Встановлено, що в результаті впливу імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних властивостей швидкорізальних сталей, зростає холодна і гаряча твердість і інструментальний матеріал стає більш однорідним за структурою. Відзначено, що першопричиною поліпшення експлуатаційних характеристик інструменту, підданого магнітній обробці, є зміна властивостей інструментального матеріалу, що відбувається за рахунок магніострикційного зміцнення швидкорізальної сталі. Швидкорізальна сталь Р6М5 зазнає об'ємного зміцнення, дисперсійного твердіння, стає більш однорідною за структурою та покращує свої фізико-механічні властивості, що призводить до підвищення експлуатаційних властивостей пробивних пуансонів для обсічних матриць.

Ключові слова: пробивний пуансон, швидкорізальна сталь, магнітна обробка, напруженість, твердість і теплоємність, магніострикція.

Причини відмов інструментів найчастіше пов'язані не з їх поломкою, а з втратою ними своєї початкової поверхневої зміни внаслідок зносу, сколів, зминання, розтріскування, тобто. у зв'язку з руйнуванням чи деформацією тонких поверхневих шарів металу [1].

Проблема зносостійкості та довговічності інструменту набула в машинобудуванні надзвичайно великого значення. Актуальність зносостійкості і довговічності інструменту зростає в сучасних умовах, коли в машинобудуванні особливу роль набуває якість інструментів, у тому числі висадкових і пробивних, що визначають багато в чому надійність процесів, продуктивність обладнання і собівартість обробки в цілому [2].

Однак, якщо ґрунтуватися на зміні фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу як основної причини підвищення стійкості інструменту, необхідно порівняти конкретні властивості швидкорізальних сталей до обробки і після неї, причому, в першу чергу, такі властивості, які визначають стійкість інструмента [3].

Мета роботи – дослідження зміни експлуатаційних властивостей пробивних пуансонів для обсічних матриць із швидкорізальної сталі Р6М5 після обробки в імпульсному магнітному полі.

Технологічні напрями досліджень у галузі технології магнітної обробки інструменту в імпульсних магнітних полях пов'язані з впливом магнітної обробки на стійкісні залежності інструменту.

При магнітному впливі речовина змінює свої фізичні та механічні властивості.

Інструментальна сталь, як будь-яке тверде тіло має внутрішнє пружне поле, обумовлене реальною дислокаційною структурою. З накладенням магнітного поля на матеріал на це власне пружне поле накладається пружне поле, викликане магнінострикційною деформацією.

Першопричиною покращення експлуатаційних характеристик інструменту, підданого магнітній обробці, є зміна властивостей інструментального матеріалу.

На рис.1 подано результати виконаних експериментів. Дослідження показали, що відносно слабкі магнітні поля не призводять до зміни значень твердості та теплостійкості. Залежності $HRC=f(H)$ і $HRC_T=f(H)$ мають максимум за напруженості поля $H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/м. Подальше збільшення напруженості поля призводить до зниження твердості та теплостійкості і при $H=1,6 \cdot 10^5$ А/м ці параметри практично не відрізняються від твердості та теплостійкості зразків у вихідному положенні.

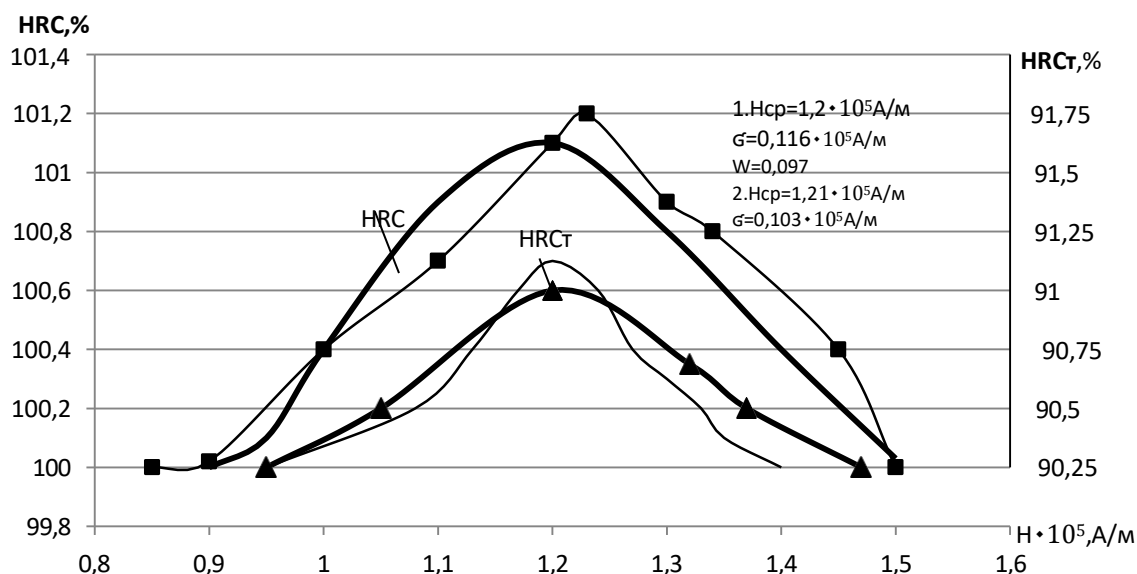


Рис. 1 – Залежність зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5 від напруженості магнітного поля після 24-годинної витримки інструменту

Випробування сталі Р6М5 на теплостійкість (рис. 2) показали, що вона підвищується, порівняно з вихідним станом.

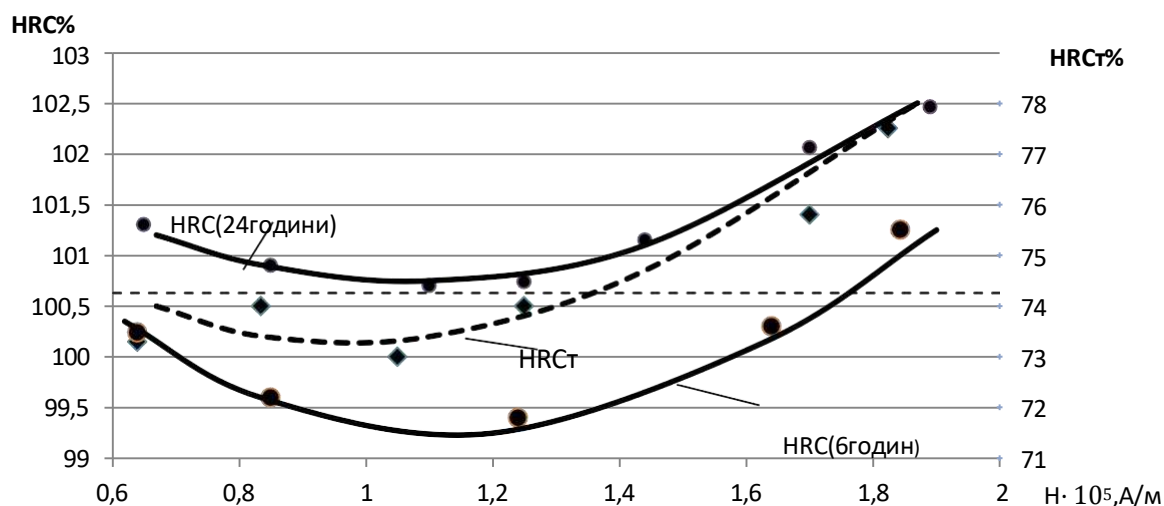


Рис. 2 – Залежність зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5 від напруженості поля та часу старіння

Збільшення кількості карбідів та зменшення їх здатності до коагуляції при зростанні температури в зоні обробки виявляється у підвищенні теплостійкості швидкорізальної сталі.

У той же час магнітна обробка призводить до збільшення холодної твердості швидкорізальної сталі, а більш рівномірна структура матеріалу зменшує розкид значень твердості в обсязі одного і того ж інструменту.

Встановлено, що найбільше підвищення стійкості магнітнообробленого інструменту та найбільше підвищення значень твердості та теплостійкості отримані при тих самих значеннях робочого поля ($H=1,2 \cdot 10^5$ А/м).

Максимальне підвищення твердості та теплостійкості швидкорізальної сталі при напруженості поля $H=1,2 \cdot 10^5$ А/м відбувається рахунок магнитострикційного субструктурного зміцнення.

Поліпшення властивостей пробивних пуансонів для обсічних матриць із сталі Р6М5, що пройшли магнітно-імпульсну обробку, досягається за рахунок спрямованої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем, внаслідок чого збільшується тепло- та електропровідність матеріалу.

У місцях концентрації залишкових або втомних напружень, пов'язаних з технологією виробництва, обробки або експлуатації інструменту, наведена теплота вихровими струмами, частково зменшує надмірну енергію складових кристалітів і зерен структури особливо в зоні контакту напружених ділянок.

Процес магнітно-дисперсійного твердіння сталі в результаті впливу магнітного поля дозволяє отримати більш однорідну структуру матеріалу.

Висновки

Внаслідок впливу імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних властивостей швидкорізальної сталі Р6М5, зростає холодна та гаряча твердість та інструментальний матеріал стає більш однорідним за структурою.

Швидкорізальна сталь Р6М5 зазнає об'ємного зміцнення, дисперсійного твердіння, стає більш однорідною за структурою та покращує свої фізико-механічні властивості, що призводить до підвищення експлуатаційних властивостей пробивних пуансонів для обсічних матриць.

Change of operating properties of aggressive puncheons from quickly-cutting steel of R6M5 after treatment in the impulsive magnetic field

M.I. Kindenko

Abstract: The real work is devoted research of questions, related to the increase of operating properties of instruments from bystrorezhushchikh staley by magnetic-impulsive treatment. It is set that as a result of influence of the impulsive magnetic field there is a change of fiziko-mechanical properties of bystrorezhushchikh staley, cold and hot hardness and instrumental material increases becomes more homogeneous on a structure. It is marked that primary cause of improvement of operating descriptions of instrument, exposed to magnetic treatment, is a change of properties of instrumental material, which takes place due to the magnetostriction work-hardening of high-speed steel. High-speed steel P6M5 undergoes volume hardening, dispersion hardening, becomes more homogeneous in structure and improves its physical and mechanical properties, which leads to an increase in the operational properties of punches for cutting dies.

Key words: aggressive puncheon, high-speed steel, magnetic treatment, tension, hardness and heat capacity, magnetostriction.

Список літератури

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987. – 144 с.
2. Кинденко Н. И. О физической сущности процесса магнитной обработки осевого инструмента из быстрорежущей стали // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. - Краматорськ, 2010. - Вип. 26. - С. 203-208.
3. Алифанов А. В., Малеронок В. В., Богданович И. А., Лях А. А., Милукова А. М. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на температуру и структурные преобразования в поверхностных слоях образцов из быстрорежущей стали. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*. Новополоцк: 2021. (3). С. 11–14.

УДК 621.7.01

Дослідження подовження ресурсу пластичності конструкційних матеріалів методами термомеханічної обробки при виготовленні деталей

В.А. Тітов, В.О. Корева, О.В. Тимошенко
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: В даній роботі досліджено подовження ресурсу пластичності конструкційних матеріалів термомеханічною обробкою з використанням проміжних відпалів в процесі деформування. Наведені результати досліджень для коефіцієнта використання ресурсу пластичності на i -му переході $k = 0,5$. Проводились випробування на зразках за схемою на розтяг. В результаті, встановлено, що падіння ефективності проміжного відпалу пояснюється накопиченням пошкоджень металу при попередній деформації. Було визначено подовження ресурсу пластичності алюмінієвого сплаву АМг6 термомеханічною обробкою при випробуваннях на розтяг. Встановлено, що за допомогою проміжних відпалів забезпечується зростання ресурсу пластичності матеріалу в 1,5...1,6 рази. Також побудована гранична поверхня залежності пластичності матеріалу від термомеханічної обробки та кількості переходів за результатами повного дослідження.

Ключові слова: ресурс пластичності, конструкційні матеріали, термомеханічна обробка, проміжний відпал, розтяг.

Використання нових конструкційних матеріалів та технологічних процесів виготовлення виробів машинобудування дозволяє підвищити їх експлуатаційні характеристики, забезпечуючи високі механічні властивості та якість елементів конструкції. Ефективність виготовлення складних деталей досягається завдяки високій пластичності металів, а їх якість контролюється за рахунок використання регламентованого ресурсу пластичності. Останнім часом спостерігається активний розвиток процесів, які збільшують ресурс пластичності шляхом застосування термомеханічної обробки. Цей метод включає одночасну або послідовну дію навантаження та температурний вплив [1-6]. До таких методів відносять використання проміжних відпалів, а також високотемпературне ізотермічне формоутворення зі складних конструкційних матеріалів. Важливими реологічними характеристиками можна вважати граничне подовження та їх особливості опору деформуванню. У зв'язку із появою нових важкодеформівних матеріалів та сплавів, починаючи із 70-х років минулого століття, задачею теорії пластичності стає визначення можливості здійснення технологічних операцій пластичного формування заготовок із різних матеріалів без руйнування. При цьому, оцінка ресурсу пластичності становиться важкою та іноді невіршальною задачею.

Метою роботи є дослідження подовження ресурсу пластичності конструкційних матеріалів термомеханічною обробкою з використанням проміжних відпалів в процесі деформування.

Методика роботи визначає порядок проведення експериментів на одновісний розтяг з проміжними відпалами. Сумарне подовження зразків в процесі проведення експериментів визначається у відповідності до наведеного алгоритму.

Порядок проведення експерименту наступний:

1. Розподіл зразків на групи, їх маркування.
2. Вимірювання точних розмірів зразків електронним штангенциркулем.
3. Проведення відпалу всіх груп зразків.
4. Випробування на розтяг до руйнування контрольної групи зразків та визначення їх

максимального ресурсу пластичності $e_{\max 0}$.

Випробування на розтяг решти груп зразків до величини деформації $e_i = k e_{\max}$

6. Проведення відпалу попередньо здеформованих зразків.

7. Випробування на розтяг до руйнування i -ої групи зразків та визначення їх e_{max_i} ;

8. Повторення п. 5, 6 та 7 до встановленої кількості переходів.

Тут:

e_{max_0} – максимальний РП вихідного матеріалу заготовки після проведення термічної обробки – відпалу;

$e_i = k e_{max_{(i-1)}}$ – використаний РП на i -му переході;

k – коефіцієнт використання ресурсу пластичності на i -му переході;

e_{max_i} – залишковий РП на i -му переході після проведення термічної обробки для відновлення РП.

Сумарний ресурс пластичності було визначено за наступною залежністю:

$$e_z = \sum_{i=e_i}^n e_i + e_{max_i} \quad 1)$$

Цей ресурс пластичності відображає вплив проміжних операцій термообробки (відпалу) на пластичність сплаву після механічної обробки деформацією.

Нижче наведені результати експериментів для $k = 0,5$.

Температурні режими термічної обробки (відпалу) для проведення експерименту:

- температура нагріву заготовок – 325 °С;
- час витримки в нагрітому стані – 30 хвилин;
- вид остаточного охолодження – на повітрі.

Методика проведення випробувань на одновісний розтяг виконувалася згідно ГОСТ 11701-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент» та ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение».

Внаслідок обмеження кількості матеріалу було вибрано короткі зразки для проведення експериментальних досліджень.

Для проведення експериментального дослідження по визначенню подовження ресурсу пластичності термомеханічною обробкою використано 15 зразків із листа товщиною 2 мм із алюмінієвого сплаву АМг6 для випробувань на одновісний розтяг.

На рис. 1 показано розміри експериментальних зразків на одновісний розтяг.

Сумарний ресурс пластичності після проведення експерименту було визначено за значеннями використаних ресурсів пластичності на кожному переході:

$$e_z = e_1 + e_2 + e_3 + e_{max_3} = 13,1 + 10,6 + 7,9 + 9,7 = 41,3 \%$$

Отже, $e_z > e_{max_0}$ в 1,58 разів.

Графік залежності максимального значення відносного подовження (ресурсу пластичності) від кількості відпалів показано на рис. 2.

В результаті, встановлено, що попередня пластична деформація 50 % від ресурсу пластичності дає підвищення ресурсу пластичності наступні:

а) на II-му переході:

- залишковий ресурс пластичності становить 13,1 %;
- відновлений ресурс пластичності становить 21,3 %.

Отже, ресурс пластичності був підвищений в 1,6 разів.

б) на III-му переході:

- залишковий ресурс пластичності становить 10,7 %;
- відновлений ресурс пластичності становить 15,9 %.

Отже, ресурс пластичності був підвищений в 1,5 разів.

в) на IV-му переході:

- залишковий ресурс пластичності становить 7,9 %;

- відновлений ресурс пластичності становить 9,7 %.
Отже, ресурс пластичності був підвищений в 1,2 разів.

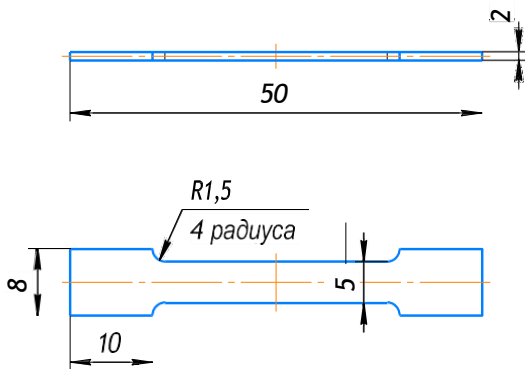


Рис. 1. Креслення зразка

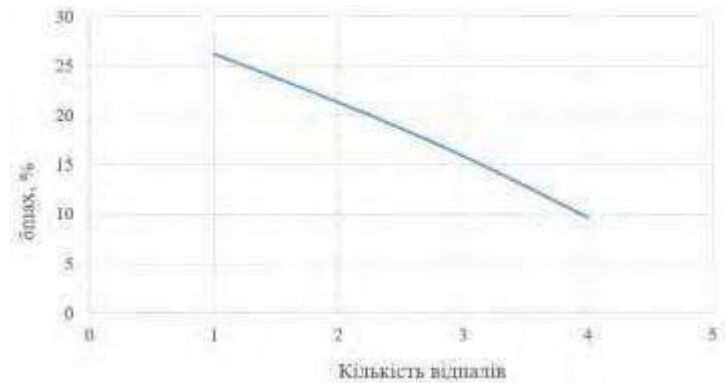


Рис. 2. Графік залежності максимального відносного подовження від кількості відпалів

Введемо для відношення відновленого ресурсу пластичності до залишкового коефіцієнт K – коефіцієнт відновлення ресурсу пластичності.

$$K = \frac{e_{z_i}}{(1 - k)e_{max(i-1)}} \quad (2)$$

тут e_{z_i} – сумарний ресурс пластичності після i -го переходу;

$(1 - k)e_{max(i-1)}$ – залишковий РП на i -му переході до проведення термічної обробки

для відновлення РП.

Залежність коефіцієнта K від кількості відпалів показана на рис. 3.

Група зразків 5 свідчить про те, що на ресурс пластичності не впливає кількість відпалів, так як:

$$e_{max0} = 26,2 \% \approx e_{max4} = 26,1 \%$$

Отже, можна дійти до висновку, що ефективність відпалу при коефіцієнті використання ресурсу пластичності $k = 0,5$ падає через накопичення пошкоджень металу при попередній деформації.

Також були проведені дослідження із коефіцієнтами використання ресурсу пластичності $k = 0,25$ та $k = 0,75$. За результатами яких було отримано граничну поверхню залежності пластичності матеріалу від термомеханічної обробки та кількості переходів, яку показано на рис. 4.

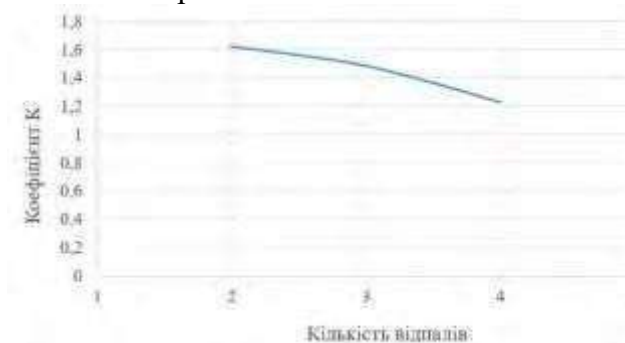


Рис. 3. Залежність коефіцієнта K від кількості відпалів.

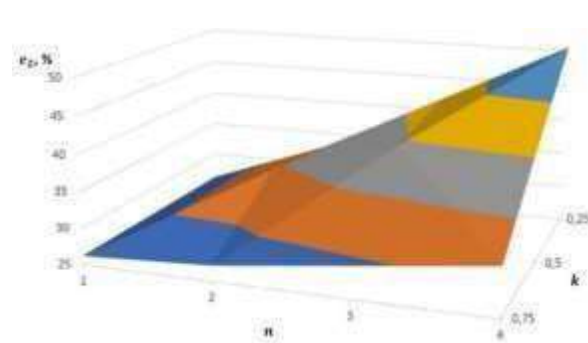


Рис. 4. Гранична поверхня залежності пластичності матеріалу від термомеханічної обробки та кількості переходів.

Висновки

В ході виконання експериментальних досліджень було досягнуто наступних результатів:

Визначено подовження ресурсу пластичності алюмінієвого сплаву АМг6 за рахунок термомеханічної обробки при випробуваннях на розтяг. В результаті, встановлено, що після одного відпалу сумарний ресурс пластичності становив 26,2 %, після двох відпалів – 34,4 %, після трьох відпалів – 39,6 %, після чотирьох відпалів – 41,3 %. Отже, із збільшенням кількості відпалів сумарний ресурс пластичності підвищується.

Исследование повышения ресурса пластичности конструкционных материалов методами термомеханической обработки при изготовлении деталей

В.А. Титов, В.О. Корева, О.В. Тимошенко

Аннотация: В данной работе исследовано удлинение ресурса пластичности конструкционных материалов термомеханической обработкой с использованием промежуточных отжигов в процессе деформирования. Приведены результаты исследований коэффициента использования ресурса пластичности на i -ом переходе $k=0,5$. Проводились испытания на образцах по схеме растяжения. В результате установлено, что падение эффективности промежуточного отжига объясняется накоплением повреждений металла при предварительной деформации. Было определено удлинение ресурса пластичности алюминиевого сплава АМг6 термомеханической обработкой при испытаниях на растяжение. Установлено, что посредством промежуточных отжигов обеспечивается рост ресурса пластичности материала в 1,5...1,6 раза. Также построена граничная поверхность зависимости пластичности материала от термомеханической обработки и количества переходов по результатам полного исследования.

Ключевые слова: ресурс пластичности, конструкционные материалы, термомеханическая обработка, промежуточный отжиг, растяжение.

Investigation of increasing the plasticity resource of structural materials by methods of thermomechanical treatment in the manufacture of parts

V. Titov, V. Koreva, O. Tymoshenko

Abstract: In this work, the elongation of the plasticity resource of structural materials by thermomechanical treatment with the use of intermediate annealings in the process of deformation was studied. The results of studies of the plasticity resource utilization coefficient at the i -th transition $k=0.5$ are given. Tests were carried out on samples according to the tensile scheme. As a result, it was found that the decrease in the efficiency of intermediate annealing is explained by the accumulation of damage to the metal during preliminary deformation. The elongation of the plasticity resource of the aluminum alloy AMg6 was determined by thermomechanical treatment during tensile tests. It has been established that by means of intermediate annealing, an increase in the plasticity resource of the material by 1.5–1.6 times is ensured. The boundary surface of the dependence of the plasticity of the material on thermomechanical processing and the number of transitions is also built according to the results of a complete study.

Keywords: plasticity resource, structural materials, thermomechanical treatment, intermediate annealing, stretching.

Список літератури

1. Богатов А. А. Механические свойства и модели разрушения металлов: учебное пособие для вузов /А. А. Богатов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. – 329 с.
2. А. С. Шпагин, В. В. Кучеряев, М. В. Бубнов Компьютерное моделирование процессов термомеханической обработки жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ЭП742 // Труды ВИАМ. 2019. №8 (80).
3. Смирнов С.В., Богатов А.А., Колмогоров В.Л. Исследование пластического разрыхления металла и заживление деформационных дефектов при отжиге // Физика металлов и металловедение. – 1980. Т. 49, вып. 2. – С. 389-393.
4. О заживлении дефектов в металлах при пластической деформации (аналитический обзор) / В.М. Мацевитый, К.В. Вакуленко, И.Б. Казак // Проблемы машиностроения. — 2012. — Т. 15, № 1. — С. 66-76.

5. Смирнов С.В., Нестеренко А.В., Швейкин В.П. Определяющие соотношения механики поврежденности для молибдена в условиях теплой деформации // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11-3. – С. 660-664.
6. Жбанов Я. Г. Восстановление пластичности при изотермическом горячем дробном деформировании / Я. Г. Жбанов, Л. И. Алиева, В. М. Михалевич // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2013. - № 7. - С. 12-17.

УДК 621.7;621.983

Пружиніння товстостінної трубчастої заготовки при радіальному обтиску бойками по циліндричній та профільованій оправці

В.А. Тітов, І.М. Максимів

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: Розглянуто задачу з визначення величини пружиніння товстостінної заготовки після зняття навантаження, за схемою радіального всебічного обтиску. Виконано аналіз напружено-деформованого стану матеріалу, що дає краще розуміння механізму повернення виробу до своєї початкової форми після пластичної деформації.

Ключові слова: радіальний обтиск, пружні характеристики, пружиніння, трубчаста заготовка, оправка, напружено-деформований стан.

Процес профілювання внутрішньої поверхні [1] методом радіального обтиску бойками циліндричних заготовок може мати свою актуальність у різних галузях виробництва, особливо там, де необхідно створити потужні механічні зв'язки або дати заготовці певну форму [2]. У виробництві літаків та ракет, радіальний обтиск використовується для з'єднання різних компонентів, наприклад, крил, шасі та стійок. Цей процес дозволяє створити з'єднання з високою міцністю, яке може витримати великі навантаження та забезпечити безпеку використання.

Метою роботи є аналіз процесу пружиніння, що дасть змогу краще розуміти поведінку матеріалу після пластичної деформації та прогнозувати її. Це важливо для розробки безпечних та надійних конструкцій, які піддаються навантаженню.

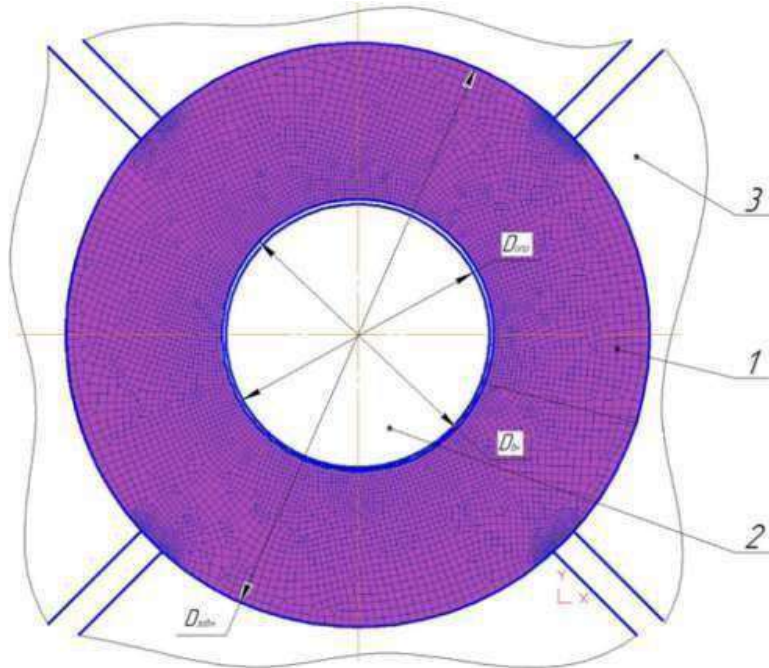


Рис.1 – схема процесу радіального обтиску бойками:
1 – заготовка; 2 – оправка; 3 – бойок

Для вивчення процесу формоутворення внутрішньої поверхні циліндричної заготовки, отриманої всебічним радіальним обтиском бойками, та визначення параметрів НДС, використовувався пакет прикладних програм DEFORM на основі MCE [3].

Було виконано моделювання обтиску трубчастої заготовки на циліндричній оправці. Постановка задачі виконувалася в плоско-деформованому напруженому стані із різними внутрішніми діаметрами трубчастої заготовки.

Вихідні дані для моделювання:

- матеріал заготовки – AISI 4340;
- зовнішній діаметр заготовки – $D_{\text{зовн}} = 20\text{мм}$;
- внутрішні діаметри - $D_{\text{вн}1} = 9,1\text{мм}$; $D_{\text{вн}2} = 9,2\text{мм}$; $D_{\text{вн}3} = 9,3\text{мм}$; $D_{\text{вн}4} = 9,4\text{мм}$;
- діаметр оправки $D_{\text{опр}} = 9\text{мм}$;
- коефіцієнт тертя - $\mu = 0,01$ по Кулону;
- кількість елементів сітки – близько 7000.

В результаті моделювання показано, що в залежності від початкового зазору між заготовкою та оправкою змінюється величина пружиніння заготовки. Вона залежить від розвитку напружень в стінках. На рис.2 показано зростання величини інтенсивності напружень зі збільшенням зазору між внутрішньою поверхнею заготовки та оправкою.

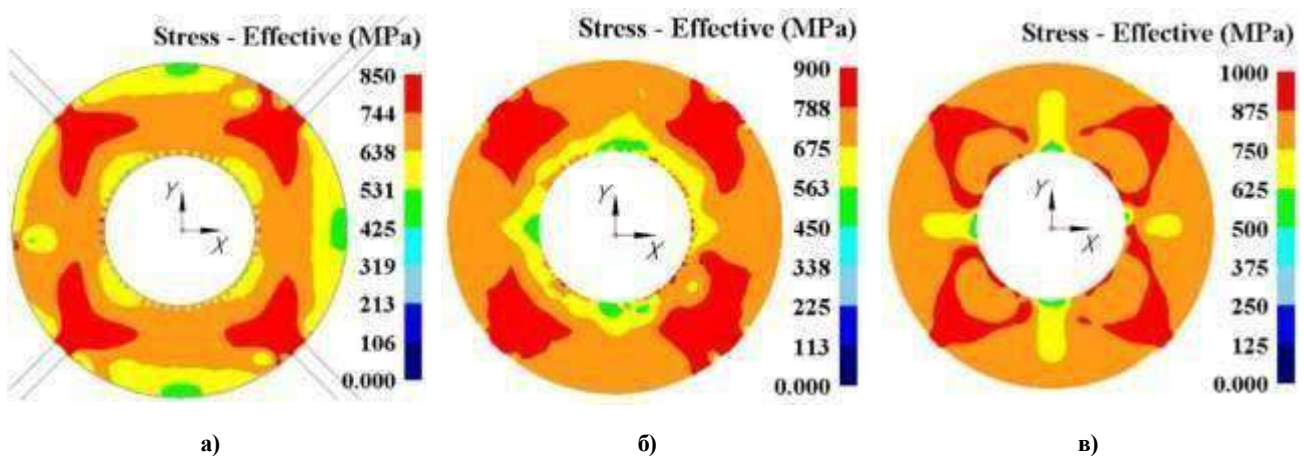
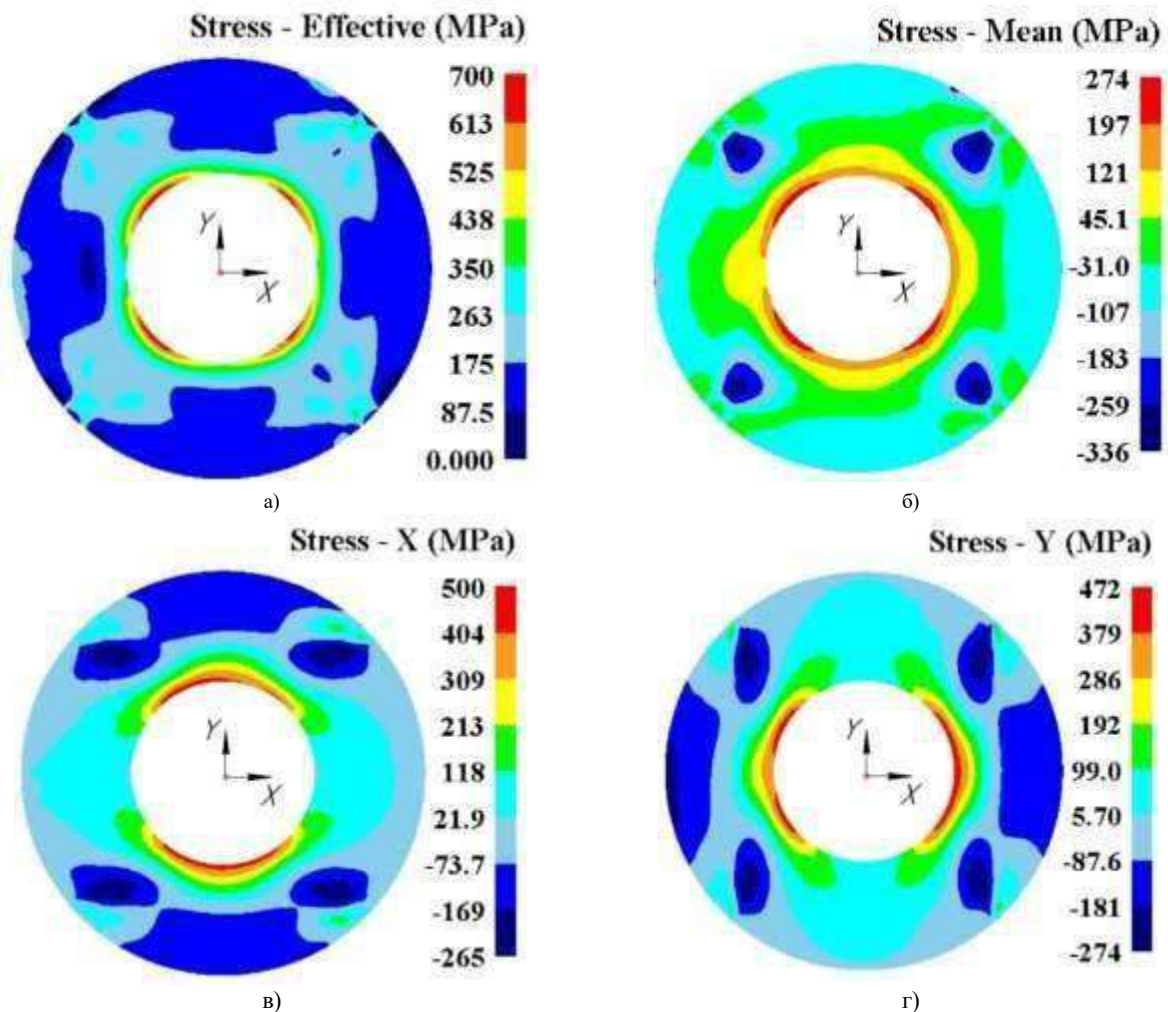


Рис. 2 – Розподіл σ_i при радіальному обтиску бойками трубчастої заготовки в момент заповнення зазору під навантаженням початкових діаметрів: а – 9,1мм; б – 9,2мм; в – 9,4мм

При моделюванні процесу після розвантаження заготовки було отримано характеристики залишкового напружено-деформованого стану, що показані на рис. 3 для внутрішнього діаметра 9,1мм. Аналогічно було проведено моделювання для діаметрів 9,2...9,4мм:



а – інтенсивність напружень σ ; б – середні напруження $\sigma_{\text{сер}}$; в – напруження σ_x ; г – напруження σ_y

Рис. 3 – Залишковий напружений стан трубчастої заготовки із внутрішнім діаметром $D_{\text{вн1}} = 9,1$ мм після зняття навантаження

Після кожної операції обтиснення було проведено заміри розмірів внутрішнього діаметру заготовки та порівняно з розмірами до початку експерименту. Значення пружиніння матеріалу встановлювали за залежністю:

$$\Delta R = 0.5(D_{\text{пр}} - D_{\text{опр}}),$$

де $D_{\text{пр}}$ діаметр отвору пружиніння, D_0 – діаметр оправки.

На основі отриманих даних побудована залежність величини пружиніння від зазору між поверхнею заготовки та оправкою, яка наведена на рис.4.

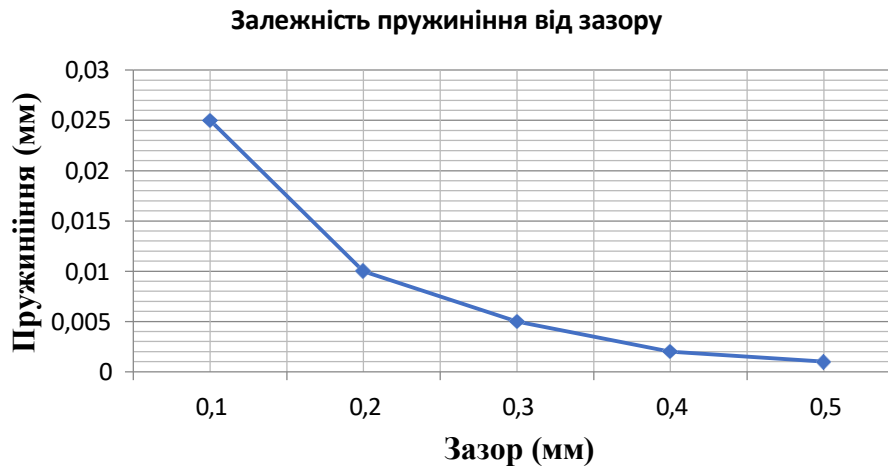


Рис.4 – Залежність пружиніння внутрішнього діаметру обтисненої трубчастої заготовки від зазору між заготовкою та оправкою

Залежність на рис.4 показує, що чим більший початковий зазор тим менша величина ΔR пружиніння. Це пояснюється тим, що із зростанням величини зазору в матеріалі заготовки зростають зона та величина пластичної деформації.

В роботі також встановлено, що при отриманні отворів профільованої форми поверхні (наприклад полігональної) залежність на рис. 3 може бути також ефективно використана.

Висновки

Пружиніння може негативно впливати на точність виробу, тому важливо, щоб величина була мінімальна. Як показано на графіку зі збільшенням значення зазору, пружиніння зменшується. Встановлена залежність величини пружиніння від зазору дозволяє прогнозувати технологічні параметри процесу радіального обтиску заготовки по оправці для отримання деталей необхідної якості.

Список літератури

1. Розов Ю. Г. Методы профилирования внутренней поверхности прецизионных трубчатых изделий / Ю. Г. Розов, Ю. В. Лагно, Д. Б. Шкарлута // Прогресивні техніка і технологія – 2006: сб. труд. участников VII Международной научно-практической конференции. – Севастополь, 2006.
2. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением / Н. П. Громов. – М.: Металлургия, 1968. – 340 с.
3. Петров П. А. Моделирование выдавливания осесимметричной детали с помощью системы DEFORM 2D/3D / П. А. Петров, Д. А. Гневашев, Ю. К. Филиппов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2003. – № 12. – С. 26–27.

Study of the springiness of the material of a thick-walled tubular workpiece during radial crimping with punches on a cylindrical mandrel

V. Titov, I. Maksymiv

Abstract: The paper considers the problem of determining the amount of springiness of the workpiece material after removing the load, according to the scheme of radial all-round crimping. An analysis of the stress-strain state of the material was performed, which provides a better understanding of the mechanism of returning the product to its original shape after plastic deformation.

Keywords: radial crimping, elastic characteristics, springing, tubular workpiece, mandrel, stress-strain state

УДК 621.7;621.983

Ізотермічне штампування деталей з тонкостінними елементами

Буртан М.А., Тітов А.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: В роботі було проаналізовано особливості ізотермічного формоутворення моноколів при температурах гарячої пластичної деформації. Проведенні розрахунки чисельними методами гарячого ізотермічного штампування з тонкостінними елементами з алюмінієвих сплавів, встановленні енерго-силові параметри процесу та напружено-деформованого стану (НДС) при формоутворенні

Ключові слова: ізотермічне штампування, моноколеса, метод скінченних елементів, газотурбінний двигун, силові режими, напружено-деформований стан, алюмінієві сплави, гаряче штампування

На сьогодні, моноколеса, як правило, виготовляються методами механічної обробки, в результаті чого 50-80% металу виходить в стружку. Також при механічній обробці моноколеса не вдається отримати благополучний розподіл металу, що сприяло би максимальному опору виникаючим в ході експлуатації навантаженням, вібронавантаженням і т.д. Перспективним способом отримання моноколів є гаряче об'ємне штампування (ГОШ), використання якої дозволяє отримати благополучне формування текстури матеріалу в тілі диску та лопатки, що забезпечує підвищений опір навантаженням, що виникають в ході експлуатації, забезпечує збільшення ресурсу деталі, зменшує витрати матеріалу, а також значно зменшує трудоемкість її виготовлення на 50-60 %

Мета роботи є Оцінка енергосилових параметрів та напружено-деформованого стану (НДС) при формоутворенні моноколів із аксіальними тонкостінними елементами із алюмінієвих сплавів в умовах ізотермічного штампування із різними швидкостями деформування та геометриями вихідної заготовки. тонкостінними аксіальними елементами.

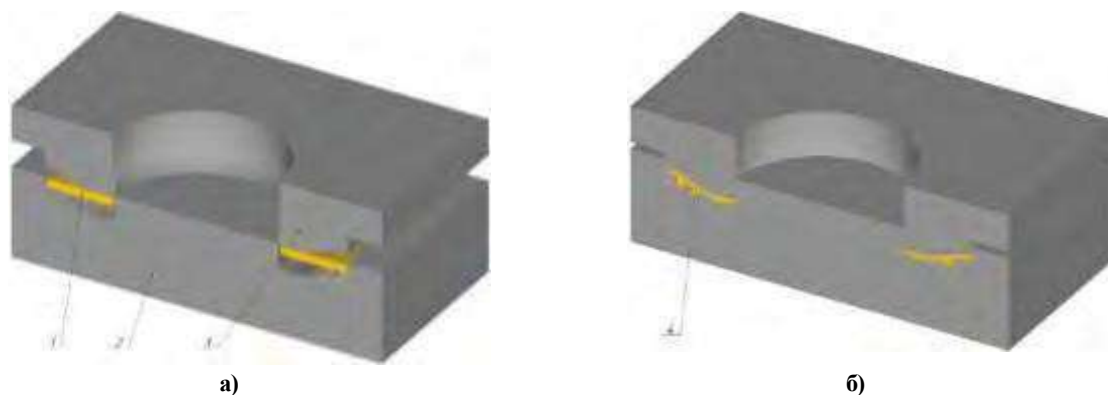


Рис. 1 – Розрахункова схема процесу ізотермічного формоутворення моноколеса із аксіальними тонкостінними елементами із програми DEFORM:

а – на початку штампування, б – в кінці штампування

Для оцінки впливу на технологічні параметри штампування даних параметрів було проведено чисельне моделювання процесу ізотермічного штампування моноколеса із використанням програмного комплексу DEFORM, а саме його модуля DEFORM-3D, який дозволяє відслідковувати переміщення матеріальних частинок заготовки при заповненні порожнини ручая штампу. Це дає можливість оптимізувати технологічні параметри процесу, такі як швидкість деформування, необхідне зусилля деформування, температуру нагрівання та геометрію ручая.

Таблиця 1

Параметри технологічного процесу для математичного моделювання ізотермічного штампування моноколеса

№	Параметри технологічного процесу	Показник
1.	Матеріал заготовки	6061 (АД33)
2.	Температура заготовки, С	480
3.	Температура оснащення, С	480
4.	Матеріал інструменту	абсолютно жорсткий
5.	Змащення	Рідке
6.	Коефіцієнт тертя	0,3 по Зібелю
7.	Кількість скінченних елементів	200 000
8.	Швидкість пуансона, мм/с	0,0001-100

Після процесу розрахунку було отримано наступні характеристики напружено-деформованого стану

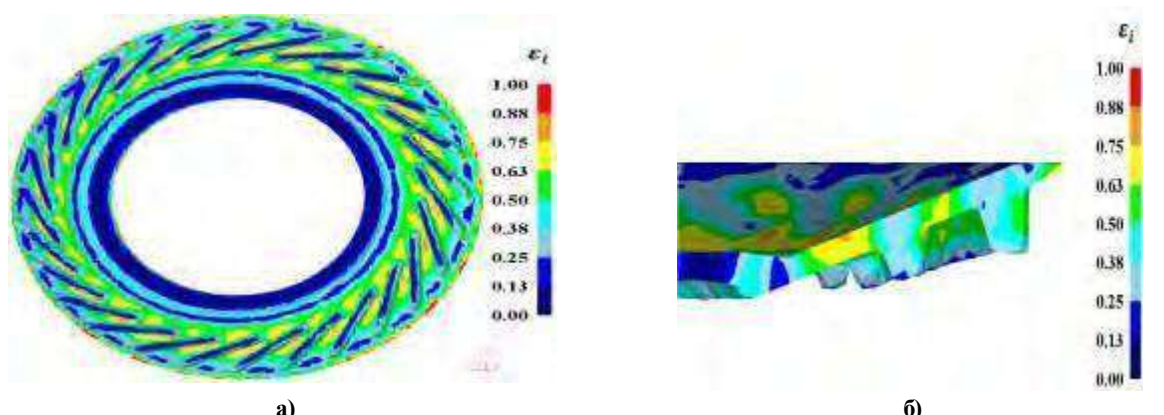


Рис. 2. – Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i в zdeформованому викові моноколеса:
а – по всьому об'єму заготовки, б – в характерному перерізі області пера лопатки

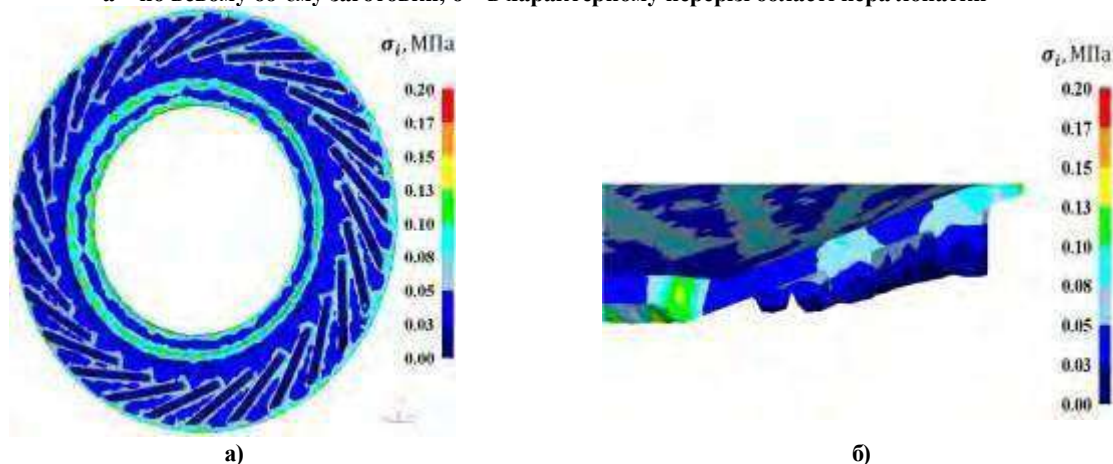


Рис. 3. – Розподіл інтенсивності напружень σ_i в zdeформованому викові моноколеса:
а – по всьому об'єму заготовки, б – в характерному перерізі області пера лопатки

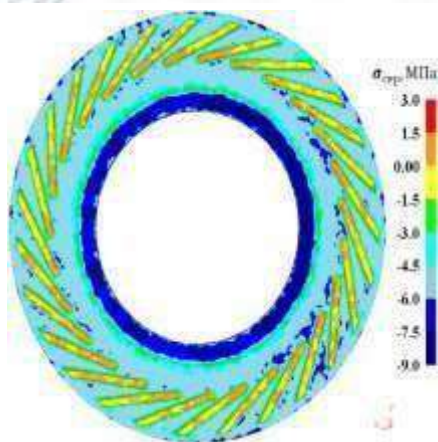


Рис. 4 – Розподіл середніх напружень $\sigma_{ср}$ по об'єму деформованого викову моноколеса

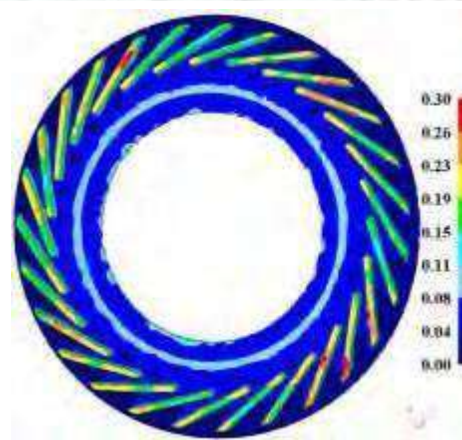


Рис. 5 – Розподіл коефіцієнта використання ресурсу пластичності по об'єму деформованого викову моноколеса

За результатами моделювання процесу ізотермічного штампування викову моноколеса із алюмінієвого сплаву 6061 (АД33) з різними швидкостями деформування побудовано графік залежності технологічного зусилля від логарифму швидкостей переміщення пуансона.

Залежність зусилля деформування P (тс) від логарифму швидкості деформування $\log v$

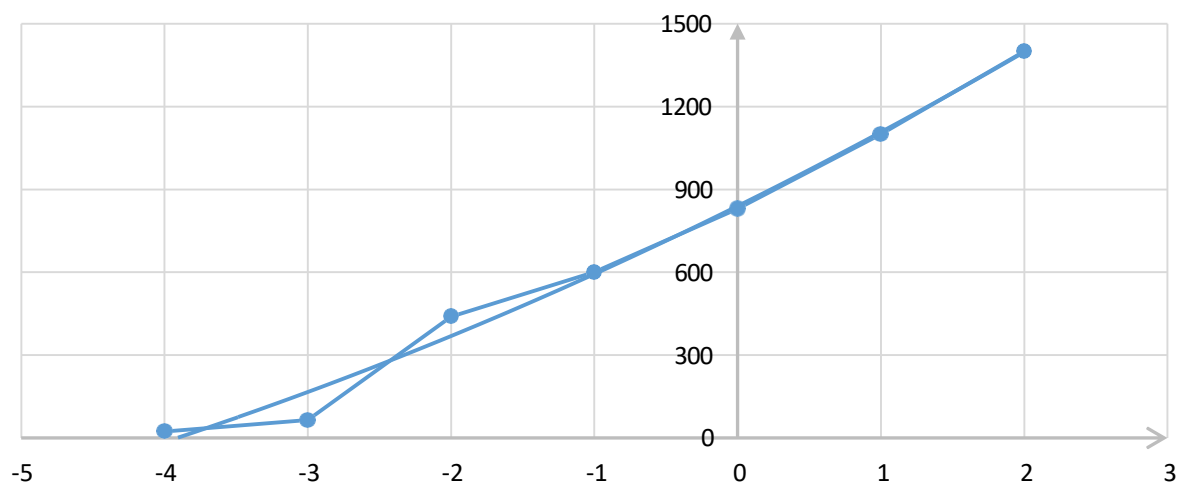


Рис. 6 – Графік залежності технологічного зусилля ізотермічного штампування викову моноколеса із алюмінієвого сплав 6061 від логарифму швидкостей переміщення пуансона

В результаті чисельного моделювання методом скінченних елементів процесу гарячого ізотермічного штампування моноколеса із аксіальними тонкостінними елементами в програмному середовищі DEFORM було отримано графік залежності зусилля деформування від переміщення пуансона. Графік показано на рис. 5. Як бачимо, із рис. 5 різке зростання зусилля деформування відбувається в кінці робочого ходу пуансона. Це можна пояснити тим, що в цей момент відбувається заповнення порожнин матриці в місцях пер лопаток. В даному випадку максимальне зусилля деформування при переміщенні пуансона на 22 мм становить $P_d = 240$ кН

Висновки

Зроблено і показано розподіл інтенсивності деформацій ε_i та розподіл інтенсивності напружень σ_i відповідно в zdeформованому викові моноколеса. Як бачимо, найбільша інтенсивність деформацій ε_i відповідає місцям радіусного переходу від диска моноколеса до пера лопатки. Найбільша інтенсивність напружень σ_i відповідає цим же зонам.

Характер розподілу інтенсивності деформацій ε_i та розподіл інтенсивності напружень σ_i відповідно в zdeформованому викові моноколеса в характерному перерізі області пера лопатки. Як бачимо, найбільші значення інтенсивності деформацій ε_i та інтенсивності напружень σ_i відповідають зонам радіусного переходу від диска моноколеса до пера лопатки. Після того, як метал проходить радіусний перехід відбувається формування пера лопатки, де значення ε_i та σ_i практично однакові по об'єму пера лопатки. Результати розрахунку показують, що при проектуванні процесів необхідно враховувати ресурс пластичності в небезпечних зонах ізотермічного штампування, які співпадають із місцем переходу від диска моноколеса до тіла пера лопатки. При цьому зменшення коефіцієнта використання ресурсу пластичності доцільно досягати за рахунок зміни форми вихідної заготовки. На рис. 10 показаний розподіл коефіцієнта використання ресурсу пластичності по всьому об'єму zdeформованого викову моноколеса в кінці деформування. Як бачимо, найбільше значення коефіцієнта використання ресурсу пластичності є в тілі пера лопаток та не перевищує 0,3, що є допустим та не призведе до руйнування.

Список літератури

1. [Теорія та практика обробки металів тиском / Під ред. Богуслаєва В. О., Бобира М. І., Тітова В. А., Качана О. Я. – Запоріжжя : АТ «Мотор Січ», 2016. – 522 с.](#)
2. [Анищенко, А. С. Анализ альтернативных технологий штамповки компрессорных лопаток для судовых двигателей / А. С. Анищенко // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2015. – Вип. 30, Т. 1. – С. 141–148. – \(Серія : Технічні науки\).](#)
3. [Momber A., Kovacevic R. Principles of Abrasive Water Jet Machining. Berlin: Springer Verlag, 1998.](#)

Isothermal stamping of parts with thin-walled elements

M.Burtan, A.Titov

Abstract: : The analyzed the features of isothermal molding of unicycles at temperatures of hot plastic deformation. Calculations were carried out using numerical methods of hot isothermal stamping with thin-walled elements made of aluminum alloys, energy and force parameters of the process and stress-strain state (VTS) during molding were determined

Keywords isothermal stamping, monowheel, finite element method, gas turbine engine, power modes, stress-strain state, aluminum alloys, hot stamping

УДК 621.7

Напівгаряче та гаряче зворотне видавлювання з роздачою вісесиметричного порожнистого напівфабрикату із маловуглецевої сталі

В.Л. Калюжний, С.В. Ситник

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: За допомогою методу скінченних елементів досліджено процеси напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою вісесиметричного порожнистого виробу із маловуглецевої сталі з виступами на донній частині. Температура заготовки для напівгарячого видавлювання складала 700°C, для гарячого 1000°C. Проведено розрахунки видавлювання та виштовхування виробу із матриці. Визначено залежності зусиль видавлювання та виштовхування напівфабрикату із матриці від переміщення деформуючого інструменту. Виявлено кінцеві форми та розміри напівфабрикату.

Ключові слова: метод скінченних елементів, гаряче і напівгаряче зворотне видавлювання, порожнистий напівфабрикат, зусилля, температура.

Виробництво артилерійських гільз середнього калібру відноситься до крупносерійного та масового типу виробництва. При проектуванні технологічного процесу виготовлення вищевказаних виробів на перших переходах штампування зазвичай використовують способи гарячого зворотного видавлювання напівфабрикатів під подальші операції витягування з потоншенням та обтиску. Тому досить важливим з точки зору зменшення витрат металу і підвищення точності форми і розмірів напівфабрикатів є використання напівгарячого видавлювання замість гарячого.

Метою роботи є встановлення і порівняння параметрів напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання з роздачою вісесиметричного порожнистого напівфабрикату із маловуглецевої сталі.

Для отримання порожнистих вісесиметричних виробів різних форм та розмірів із вуглецевої сталі використовують способи гарячого зворотного видавлювання з роздачою. Такі способи описані в джерелі [1], де наведено рекомендації по проектуванню технологій та штампового оснащення, але недостатньо даних по проектуванню технології напівгарячого зворотного видавлювання з роздачою порожнистих виробів із маловуглецевої сталі, зокрема із сталі 25.

Використання методу скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів процесу гарячого штампування дозволяє суттєво скоротити час на підготовку виробництва різних виробів процесами обробки металів тиском [2,3]. Для встановлення параметрів гарячого штампування виробів з потрібним пропрацюванням структури металу пластичною деформацією в необхідних частинах або по всьому об'єму виробів досить ефективним є також використання МСЕ, що відображено в джерелах [4-8]. З допомогою такого пропрацювання можливо з достатньою точністю прогнозувати необхідні механічні властивості в zdeформованому металі. Для покращення пропрацювання структури металу можна застосувати комбінований процес зворотного видавлювання з роздачою.

Проведено розрахунки такого процесу шляхом моделювання МСЕ з використанням скінченно-елементної програми DEFORM. Розміри циліндричної вихідної заготовки із сталі 25: діаметр $D_0=120$ мм, висота $H_0=27,2$ мм. Швидкість деформування (переміщення пуансону) складала $V_0=50$ мм/сек. Температура вихідної заготовки становила для напівгарячого видавлювання 700°C, а для гарячого - 1000°C. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким та мав температуру 20°C. Тертя на контактуючих поверхнях враховано по Зібелю з величиною коефіцієнту тертя $\mu=0,25$.

На рис. 1 відображено положення деформуючого інструменту в розрізі на різних етапах видавлювання з роздачою. Положення деформуючого інструменту на початку видавлювання наведено на рис. 1а. Вихідна заготовка 1 розташована в матриці 2 з центруванням по циліндричній частині. Виштовхувач 3 має спеціальну геометрію, що необхідно для отримання виступу на торці донної частини напівфабрикату. видавлювання здійснюється за допомогою пуансону 4. На рис. 1б, показано положення в кінці видавлювання. Положення після виймання пуансону із напівфабрикату представлено на рис. 1в. На рис. 1г показано положення після виштовхування отриманого напівфабрикату 5 із матриці 2.

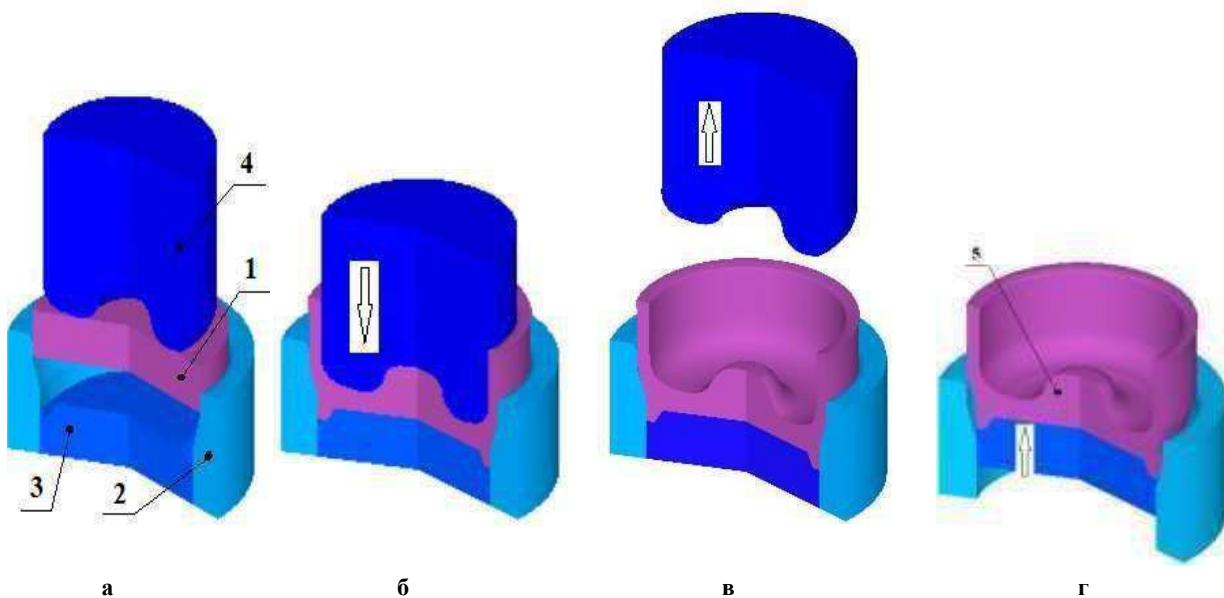


Рис. 1. Положення деформуючого інструменту на різних етапах видавлювання:

а – положення на початку видавлювання; б – положення в кінці видавлювання; в – положення після виймання пуансону із напівфабрикату; г – положення після виштовхування напівфабрикату із матриці

На рис. 2 приведено графіки силових режимів видавлювання. Залежності зусиль напівгарячого і гарячого видавлювання від переміщення пуансонів зображено відповідно на рис 2а і рис. 2б. Максимальна величина зусилля напівгарячого видавлювання складає $P_d=7370$ кН, а гарячого – $P_d=3670$ кН. На рис. 2в наведено залежність зусилля виштовхування P_v напівфабрикату із матриці від переміщення виштовхувача після напівгарячого видавлювання, а на рис. 2г – після гарячого видавлювання. Зусилля виштовхування досягає максимальних значень на початку процесу виштовхування.

На рис. 3 показано форму та розміри половини напівфабрикату, які отримані по розмірах деформуючого інструменту.

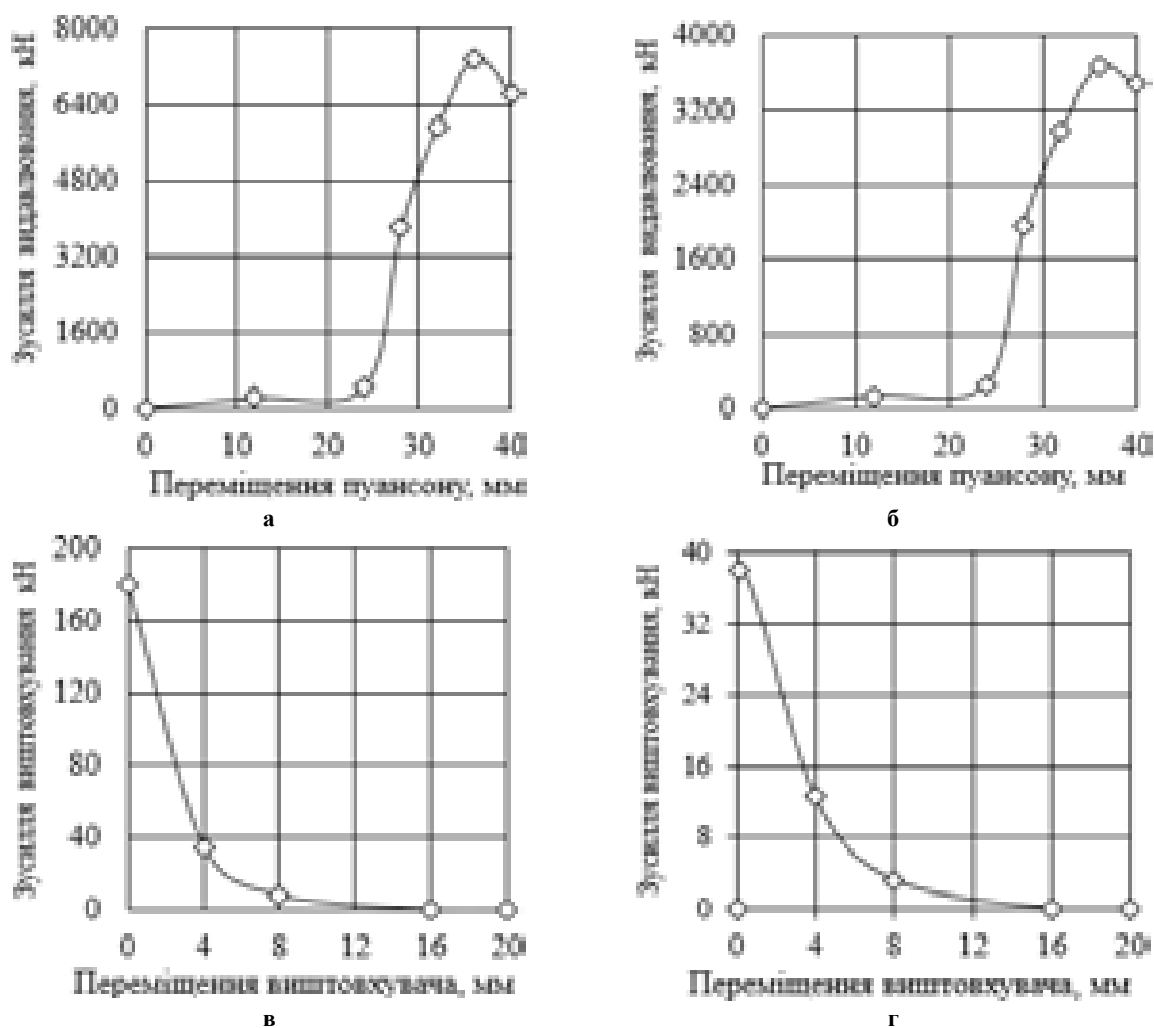


Рис. 2. Силіє режимі видавлювання: а - залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону (заготовка $T=700^{\circ}\text{C}$); б - залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону (заготовка $T=1000^{\circ}\text{C}$); в - залежність зусилля виштовхування від переміщення виштовхувача ($T=700^{\circ}\text{C}$); в - залежність зусилля виштовхування від переміщення виштовхувача ($T=1000^{\circ}\text{C}$)

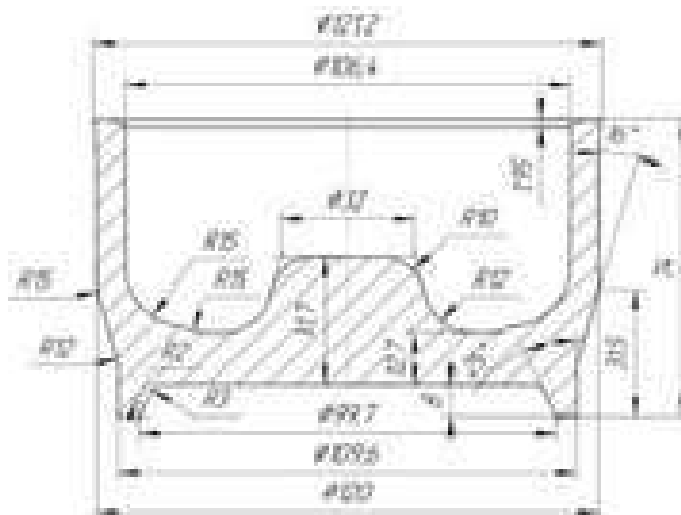


Рис. 3. Форма та розміри напівфабрикату

Методом скінченних елементів досліджено процеси напівгарячого та гарячого зворотного видавлювання вісесиметричного порожнистого напівфабрикату із маловуглецевої сталі. Для двох варіантів видавлювання визначено зусилля деформування, зусилля виштовхування напівфабрикатів із матриць та встановлено кінцеві форму і розміри напівфабрикату.

Список літератури

1. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х. т. Т.2. Горячая объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. Москва: Машиностроение. 1986. 592 с.
2. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. Днепропетровск: Системные технологии. 2008. 448 с.
3. Снитко С.А., Калюжный В.Л. Конечно-элементное моделирование многопереходного формоизменения при производстве железнодорожных колес. *Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение*. Киев: НТУУ «КПИ». 2011. № 11. С. 106-112.
4. Алиев И.С., Марков О.Е., Жбанков Я.Г. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА, 2010. №3 (24). С. 64-69.
5. Алиев И.С., Жбанков Я.Г., Таган Л.В. Управление напряженно-деформированным состоянием заготовки в процессах ковки крупных поволоков. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА. 2013. №1 (34). С. 50-59.
6. Марков О.Е., Шарун А.О., Косилов М.С. Современные способы получения тонкостенных днищ ответственного назначения. *Обработка материалов давлением*. Краматорск: ДГМА, 2017. №1 (44). С. 115-123.
7. Калюжный В.Л., Алиева Л.И., Ярмоленко О.С., Ситник С.В. Гаряче видавлювання із високовуглецевої сталі конусних порожнистих виробів. *Mech. Adv. Technol. Vol. 6, No. 3, 2022, pp. 302–308*.
8. Калюжный В.Л., Алиева Л.И., Алиев И.С., Горностаев В.Н. Горячая объемная штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданными механическими свойствами. *Заготовительное производство*. Москва. 2018. №12. С. 18-25.

Semi-hot and hot reverse extrusion with distribution of axisymmetric hollow semi-finished product from low-carbon steel

V. Kaliuzhnyi, S. Sytnyk

Abstract: Using the finite element method, the processes of semi-hot and hot reverse extrusion with distribution of an axisymmetric hollow product made of low-carbon steel with protrusions on the bottom part were investigated. The temperature of the workpiece for semi-hot extrusion was 700°C, for hot 1000°C. Calculations of extrusion and ejection of the product from the matrix were carried out. The dependence of the forces of squeezing and pushing out the semi-finished product from the matrix on the movement of the deforming tool was determined. The final shape and dimensions of the semi-finished product are revealed.

Keywords: finite element method, hot reverse extrusion, distribution, hollow product, force, temperature.

УДК 621.983

Витягування з потоншенням через одну матрицю з використанням пуансона спеціального профілю порожнистих заготовок із латуні

О.В. Калюжний, О.С. Ярмоленко

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: в роботі було розглянуто моделювання методом скінчених елементів процесу витягування з потоншенням через одну матрицю з застосуванням пуансона спеціального профілю для отримання порожнистого виробу з тонкою стінкою змінної товщини. Отримано форму виробу, розподіл нормальних напружень на поверхні деформуючого інструменту, силові режими процесу.

Ключові слова: метод скінчених елементів, витягування з потоншенням через одну матрицю, силові режими, розподіл нормальних напружень, пуансон з поверхнею спеціального профілю.

Витягування з потоншенням через одну матрицю використовується при отриманні порожнистого виробу зі змінною товщиною стінки великою довжини. Для підвищення продуктивності процесу використовується пуансон зі спеціальним профілем [1-3], при застосуванні якого створюється додаткове тягнуче зусилля за стінку zdeформованої заготовки і зменшується зусилля, яке прикладається до донної частини. При цьому зменшуються осьові розтягувальні напруження, які діють в місці переходу стінки у донну частину.

Метою роботи є використання методу скінчених елементів для встановлення технологічних параметрів витягування з потоншенням.

Застосування пуансона зі спеціальним профілем бічної поверхні можна досягти збільшення ступеню деформації та зменшення кількості переходів при витягуванні. На рис. 1 зображено фрагмент конусної частини, яка розташована вище радіусу заокруглення бічної поверхні з торцем такого пуансона. Деформуюча поверхня пуансона утворена перетином кіл діаметром d , що розташовані з постійним кроком t . При витягуванні метал заповнює впадини бічної поверхні пуансона, за рахунок чого створюється тягнуче за стінку zdeформованої заготовки і відбувається розвантаження донної частини цієї заготовки, а також зменшення розтягувальних напружень у стінці, які є причиною відриву донної частини від стінки.

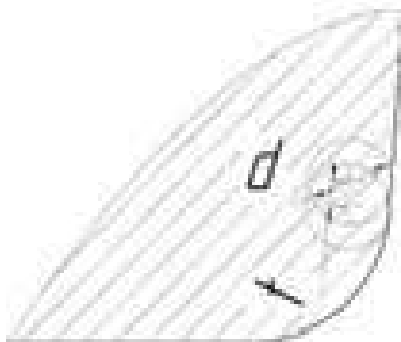


Рис. 1. Фрагмент конусної частини пуансона спеціального профілю

На рис. 2 показано форму і розміри в міліметрах вихідної заготовки із латуні Л70. Початковим даними для моделювання методом скінчених елементів у програмі DEFORM витягування з потоншенням вихідної порожнистої заготовки з розмірами, що наведені на рис. 2, були наступні: швидкість переміщення інструменту $V_0=7$ мм/сек, тертя враховувалося за Кулоном з коефіцієнтом тертя $\mu=0,08$. Розміри пуансона виконані по розмірах заготовки, а конусна частина його утворена перетином кіл діаметром $d=6$ мм, які розташовані з кроком $t=3$ мм.

Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту і заготовки на початку та в кінці витягування представлено на рис. 3. Положення на початку витягування показано на рис. 3а. Вихідна заготовка 4 встановлена в матриці 2, яка розміщена на обоймі 3. Обойма 3 необхідна для підтримки тягнутого зусилля за стінку заготовки на протязі процесу витягування. Вона також використовується при вигладжуванні виступів, які утворилися на внутрішній поверхні здеформованої заготовки, при зворотному переміщенні пуансону 1. При цьому заготовка утримується знімачами за верхній торець стінки. Витягування здійснюється пуансоном 1. Положення інструменту в кінці витягування з отриманням напівфабрикату 5 зображено на рис. 3б. Вигляд в розрізі напівфабрикату після витягування показано на рис. 3в. Застосування пуансону зі спеціальним профілем забезпечило формоутворення витягуванням з потоншенням без викривлення донної частини здеформованої заготовки, яке зазвичай має місце при витягуванні заготовки з вище наведеними розмірами.

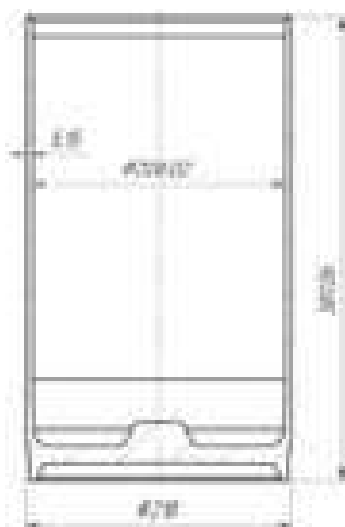


Рис. 2. Форма і розміри вихідної порожнистої заготовки

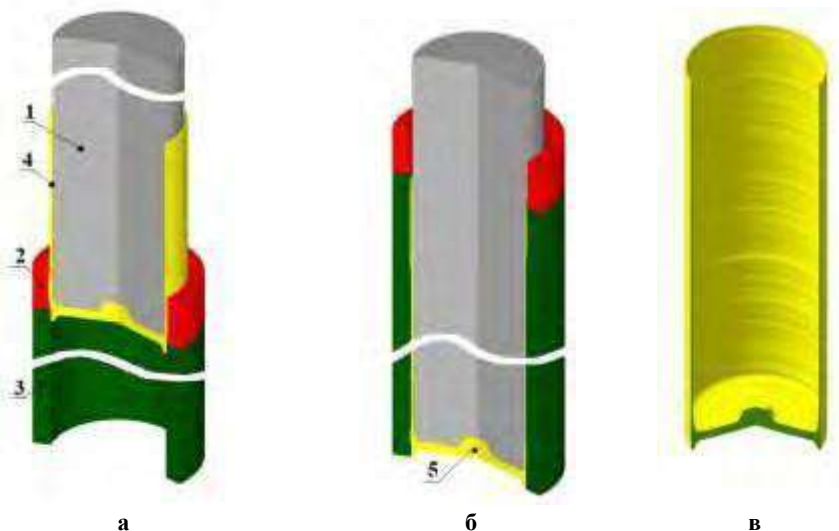


Рис. 3. Положення в розрізі інструменту і заготовки на різних стадіях витягування та вигляд отриманого напівфабрикату: а – положення на початку витягування, б - положення в кінці витягування, в – вигляд напівфабрикату

Залежність зусилля витягування від переміщення пуансону наведено на рис. 4. Перший максимум зусилля має місце в момент виходу здеформованого металу з калібруючого пояску матриці. Другий максимум з величиною зусилля 1,17 МН спостерігається в кінці витягування при затягуванні торця здеформованої заготовки в зазор між матрицею і бічною поверхнею пуансону.

Розподіл нормальних напружень на контактуючих поверхнях при максимальному зусиллі витягування представлено на рис. 5. Найбільші величини таких напружень виникають при максимальному зусиллі витягування. Здеформована заготовка розділена по висоті на три частини. Біля поверхні матриці напруження досягають $\sigma_n=810-1350$ МПа (рис. 5а). На поверхні пуансону в середній частині отримано $\sigma_n=41\div66$ МПа (рис. 5б). Біля донної частини (рис. 5в) нормальні напруження на поверхні пуансону досягають величини $\sigma_n=529$ МПа, на конусній поверхні пуансону - $\sigma_n=109$ МПа (рис. 5в).

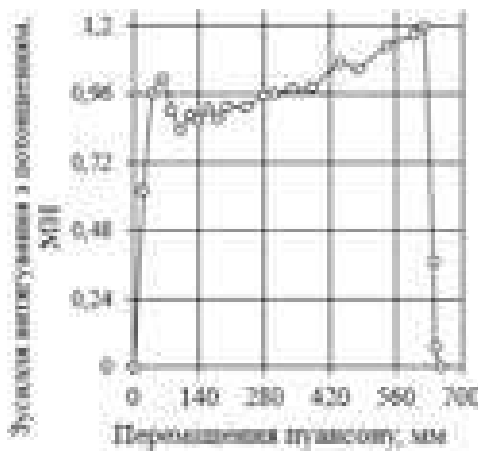


Рис. 4. Залежність зусилля витягування від переміщення пуансону

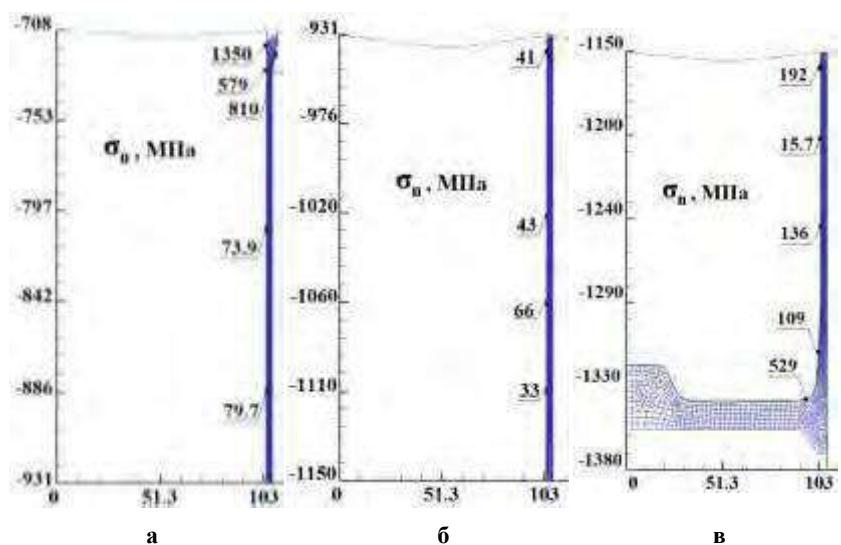


Рис. 5. Розподіли нормальних напружень σ_n : а – у верхній частині біля матриці, б – по середині, в- в донній частині

Висновки

Проведено моделювання методом скінчених елементів процесу витягування з потоншенням через одну матрицю. Застосовано пуансон з бічною поверхнею спеціального профілю в нижній частині. Встановлено залежність зусилля витягування від переміщення пуансону. Використовуючи отримані дані по зусиллі процесу та по розподілу нормальних напружень на поверхні деформуючого інструменту можна спроектувати штампове оснащення та вибрати необхідне пресове обладнання

Список літератури

1. Калюжний О.В., Соколовська С.С. Визначення параметрів витягування з потоншенням зпрофільованим пуансоном порожнистих заготовок після видавлювання. Вісник НТУ «ХП»: Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії», Харків: НТУ «ХП». 2017. №36 (1257). С. 21-28.
2. Калюжний О.В., Калюжний В.Л. Інтенсифікація формоутворюючих процесів холодного листового штампування. Київ: ТОВ «Сік Груп Україна». 2015. 292 с.
3. Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С. Інтенсифікація процесу холодного обтиску порожнистих напівфабрикатів для отримання виробів зі змінною товщиною стінки. Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського. Mechanics and Advanced Technologies. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, №1 (85). С. 111-117.

Drawing with thinning through one die using a punch of a special profile of hollow brass billets

O. Kaliuzhnyi, A. Yarmolenko

Abstract: the paper considered finite element modeling of the drawing process with thinning through one matrix using a special profile punch to obtain hollow products with a thin wall of variable thickness. The obtained shape of the product, distribution of normal stresses on the surface of the deforming tool, force modes of the process.

Key words: drawing with thinning through one matrix, force modes, normal stress distribution, punch with a special profile surface, finite element method.

УДК 621.7

Гаряче та напівгаряче видавлювання порожнистого напівфабрикату із високовуглецевої сталі

В.Л. Калюжний, А.Є. Титаренко

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: В роботі проведено моделювання за допомогою методу скінчених елементів процесу гарячого та напівгарячого зворотного видавлювання порожнистого напівфабрикату. Було встановлено зусилля видавлювання, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, деформований стан і температурний розподіл у zdeформованому металі напівфабрикату.

Ключові слова: метод скінчених елементів, гаряче і напівгаряче видавлювання, порожнистий напівфабрикат. Температура, зусилля, питомі зусилля.

В теперішній час при виготовленні порожнистих напівфабрикатів із сталей використовують холодне [1] та гаряче зворотне видавлювання [2]. Для виготовлення таких напівфабрикатів із високовуглецевих сталей застосовують гаряче видавлювання. Переваги напівгарячого видавлювання полягають в зменшенні витрат металу та підвищенні точності форми і розмірів напівфабрикатів.

Метою роботи є моделювання процесу гарячого та напівгарячого зворотного видавлювання методом скінчених елементів (МСЕ) та встановлення параметрів для проектування технологій.

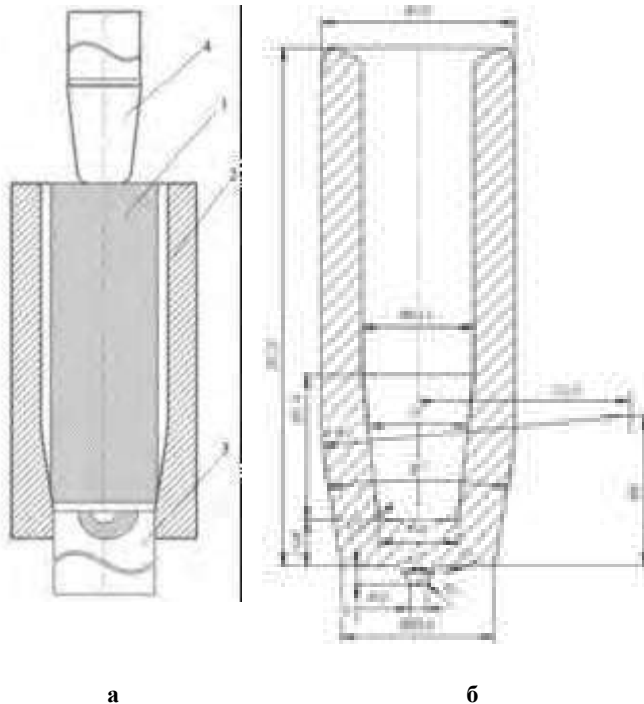


Рис. 1. Схема видавлювання (а) та ескіз напівфабрикату (б)

інструменту в процесі на різних стадіях видавлювання з осаджуванням показано на рис. 2. На початку вдавлення (рис.2а) заготовку 1 встановлено в матриці 2 на виштовхувачі 3. Деформування відбувається за допомогою пуансону 4. Положення на проміжній стадії зображено на рис. 2б. При вниз пуансону 4 відбувається формоутворення порожнини і осаджування заготовки. Положення в кінці видавлювання наведено на рис. 2в. При

проектування технологій. Схема видавлювання та ескіз напівфабрикату наведено на рис. 1. На схемі видавлювання (рис.1а) зображено заготовку 1 із сталі AISI 1060 діаметром $D_0 = 95$ мм і висотою $H_0 = 285$ мм, яку розміщено в матриці 2 на виштовхувачі 3. Деформування здійснюють пуансоном 4.

Температура заготовки при гарячому видавлюванні складала $T = 1000^\circ\text{C}$, а при напівгарячому - $T = 700^\circ\text{C}$. Швидкість переміщення пуансону була $V_0 = 100$ мм/сек. Тертя на контактуючих поверхнях враховувано по Зібелю з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,25$. Деформуючий інструмент при моделюванні абсолютно жорсткий та мав температуру 20°C .

Розрахункові положення в розрізі

зворотному переміщенні пуансону 4 zdeформована заготовка залишається в матриці 2 (рис. 2г) та видаляється з неї виштовхувачем 3 (рис. 2д).

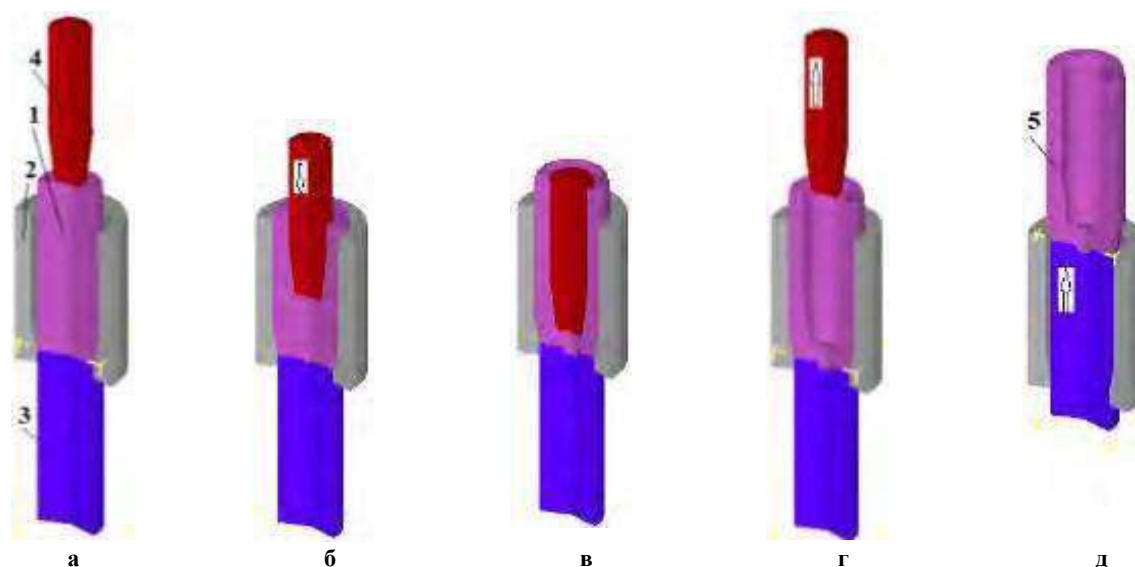


Рис. 2. Розрахункові положення в розрізі деформуючого інструменту при видавлюванні з осаджуванням: а – на початку видавлювання, б – на проміжній стадії видавлювання, в – в кінці видавлювання, г – після виймання пуансону, д – після виштовхування напівфабрикату

На рис. 3 зображено залежності зусиль видавлювання від переміщення пуансонів при гарячому та напівгарячому формоутворенні. Максимальне зусилля при гарячому видавлюванні досягає значення 2410 кН (рис. 3а), при напівгарячому - 3378 кН (рис. 3б).

Питомі зусилля на контактуючих поверхнях визначено по розподілах нормальних напружень σ_n (рис. 4). Найбільші величини нормальних напружень отримані на торці пуансону.

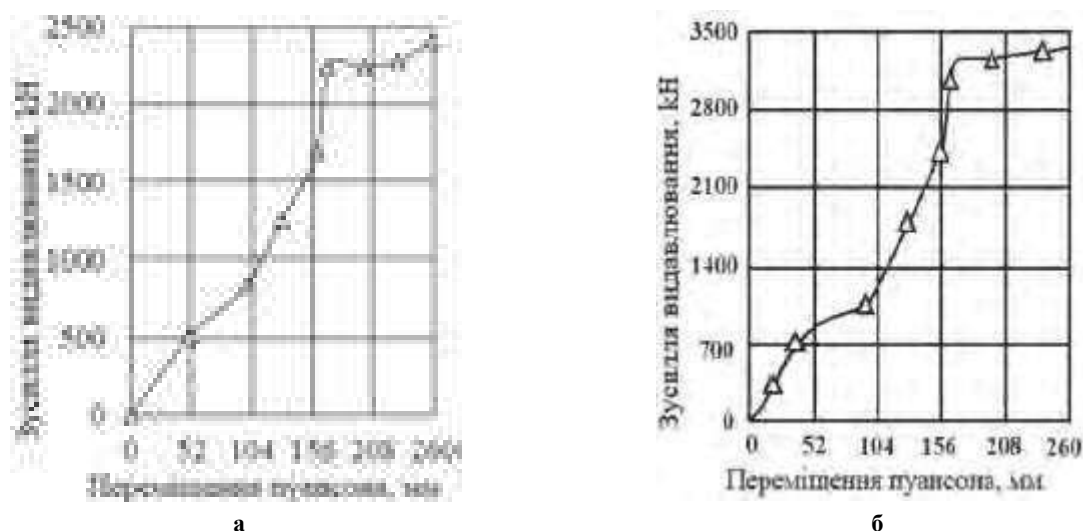
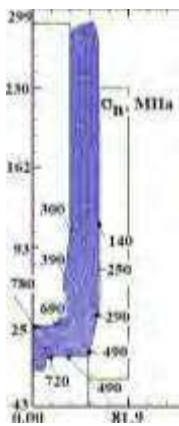
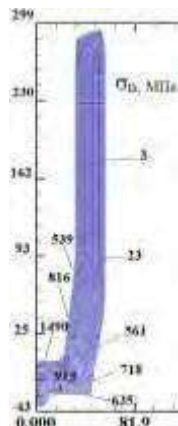


Рис. 3. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона: а – при гарячому видавлюванні, б – при напівгарячому видавлюванні

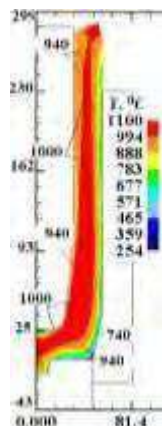


а

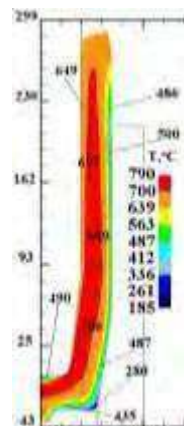


б

Рис. 4. Розподіли нормальних напружень:
а – при гарячому видавлюванні, б – при напівгарячому видавлюванні



а



б

Рис. 5. Розподіли температури:
а – при гарячому видавлюванні,
б – при напівгарячому видавлюванні

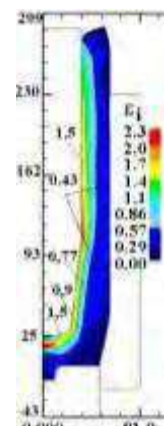


Рис. 6. Розподіл інтенсивності деформацій

На рис. 5 представлено розподіли температури у здеформованому металі напівфабрикатів. При гарячому і напівгарячому видавлюванні вибрана швидкість деформування забезпечує витримку температурних інтервалів штампування.

Пропрацювання структури металу пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ε_i . Температура не впливає на величини ε_i (рис. 6).

Висновки

Методом скінченних елементів створена математичні моделі та проведено комп'ютерний аналіз процесів зворотного видавлювання з осаджуванням в умовах гарячої і напівгарячої пластичної деформації. Визначені залежності зусиль видавлювання від переміщення пуансонів, встановлено розподіли питомих зусиль на контактуючих поверхнях здеформованого напівфабрикату з інструментом та розподіли температури і інтенсивності деформацій.

Список літератури

1. В.Л. Калюжний, О.В. Калюжний, Холодне об'ємне штампування порожнистих і стержневих виробів, Навчальний посібник, Київ. КИТ, 2020. 248с.
2. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х. т. Москва: Машиностроение. 1986. Т.2. Горячая объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. 1986. 592 с.

Hot and semi-hot extrusion of a hollow semi-finished product from high-carbon steel

V. Kalyuzhny, A. Tytarenko

Abstract: The paper simulates the process of hot and semi-hot reverse extrusion of a hollow semi-finished product using the finite element method. The extrusion force, the distribution of specific forces on the deforming tool, the stress-strain state and the temperature distribution in the deformed metal of the semi-finished product were determined.

Key words: finite element method, hot and semi-hot extrusion, hollow semi-finished products, forces, specific forces, deformations.

УДК 621.7.043

Конструкторсько-технологічний класифікатор технічних рішень конструкції лопатки вентилятора ГТД

Гараненко Т.Р., Кліско А.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Ефективним вирішенням актуальних для двигунобудування завдань є створення сімейства широкохордних лопаток вентиляторів турбореактивних двохконтурних двигунів (ТРДД) із застосуванням нових матеріалів і технологій, що включають оригінальні конструкторсько-технологічні рішення. В даний час завдяки використанню широкохордних лопаток в вентиляторах ТРДД підвищується ступінь стиснення на одній ступені при одночасному підвищенні аеродинамічній стійкості і стійкості до вібрацій. Підвищення газодинамічної ефективності при застосуванні лопаток такої конструкції дає можливість помітно зменшити загальне число лопаток в вентиляторі.

Відмова від антивібраційних полиць і використання порожнистих металевих конструкцій (Rolls-Royce, Pratt-Whitney, General Electric), титанових сплавів і композиційних матеріалів на полімерній основі в лопатках вентилятора ТРДД дозволяють полегшити лопатки і всю ступінь в цілому, знизити швидкості колові для зменшення рівня шуму.

Аналіз показує, що відмова тільки від антивібраційних полиць сприяє: підвищенню газодинамічної ефективності вентилятора до 6%; зниження питомих витрат палива, наприклад, на крейсерських режимах на 4%; збільшення витрат повітря через вентилятор.

Велику роль у вирішенні завдання пошуку нових методів виготовлення елементів порожнистих лопаток грає класифікація технологічних рішень. Завдання будь-якої класифікації полягає не тільки в систематизуванні існуючих форм, конструкцій але і в проектуванні нових процесів та елементів, які не застосовуються через відсутність нових технологічних рішень.

Основною задачею удосконалення вентиляторних лопаток є зниження маси пера лопатки за рахунок конструктивно - технологічних рішень при збереженні експлуатаційних параметрів (властивостей статичної та динамічної міцності).

Лопатки з набором лонжеронів складаються з металевої обшивки і несучих навантаження стрижнів з односпрямованих-армованого композиційного матеріалу, тобто об'єднання металевих сплавів і композиційних сплавів. В якості матеріалу несучих стрижнів високоміцні і високомодульні композиційні матеріали (вуглепластик, вуглеалюміній, боропластик, боралюміній, алюміній армований керновими волокнами карбіду кремнію, титан армований волокнами карбіду кремнію).

Порожниста металева лопатка характеризується двома конструктивними елементами - «наповнювач» і «обшивка». Кількісні зміни одного з конструктивних елементів змінює форму і функції, що сприяє до придбання нових якостей. Зміна конструктивних елементів безпосередньо впливає на характеристики міцності деталі, на основу технологічного процесу і на методи формоутворення.

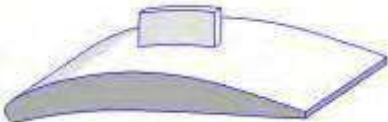
На основі узагальнення етапів еволюції конструкції вентиляторної лопатки розроблений конструкторсько – технологічний класифікатор технічних рішень конструкції лопатки вентилятора ГТД (табл. 1.). Класифікатор дає взаємозв'язок схем поперечного перерізу лопаток з основними конструктивними ознаками. Показано, що максимальну ефективність зниження маси конструкції мають порожністі лопатки з листовим наповнювачем (4 клас). Встановлено, що порожністі металеві лопатки комірчастого типу

більш складніші в технологічному аспекті та мають більшу вагу, ніж лопатки гофрового типу.

Металева порожниста лопатка в залежності від наповнювача розрізняється на гофровий або комірчастий тип. Лопатка гофрового типу може мати ребра жорсткості прямі, похилі або s – образні. Конфігурація гофрового наповнювача залежить від ширини з’єднання наповнювача з обшивкою та відстанню між зонами з’єднання. Збільшуючи відстань між зонами з’єднання та зменшуючи зону зварювання ребра більш похилі. Наповнювач гофрового типу може бути з одного або двох листів.

Таблиця 1.

Класифікація технічних рішень конструкції вентиляторних лопаток

№ класу	Типове технічне рішення	Типове технічне рішення	Основна конструктивна ознака	Відносна маса конструкції	Зниження маси
0	Вентиляторна лопатка з антивібраційними полками		Антивібраційні полки знижують вібронапруження	110%	
1	Суцільна лопатка (широкохордна)		Лопатки мають велику жорсткість	100%	
2	Полегшена лопатка з каналами (хаотичними, поздовжніми)		Висока відносна товщина профіля, яка обмежена робочим інструментом та технологією виготовлення	85-90%	
3	Полегшена лопатка з набором лонжеронів		Використання окремих поперечних та поздовжніх силових елементів приводить до збільшення маси та трудомісткості за рахунок з’єднання.	60-70%	
4	Порожниста лопатка з листовим наповнювачем		Конструкція, яка містить листовий наповнювач, є найбільш оптимальним варіантом, що забезпечує статичну та динамічну міцність	50%	

Для порожнистих лопаток комірчастого типу варіант з'єднання наповнювача з оболонками обшивок більш складніший. Порожністі лопатки комірчастого типу більш складніші в технологічному аспекті. Необхідні допоміжні отвори для подачі тиску між комірками. Якщо комірки не однакового розміру, необхідно реалізувати подачу різного тиску до них. У порожністій лопатки комірчастого типу площа з'єднання наповнювача з обшивкою збільшується, що приводить до збільшення міцності та надійності, але збільшується маса.

Встановити взаємозв'язок між існуючими технологічними процесами виготовлення полегшених вентиляторних лопаток складно, внаслідок різноманітності використовуваних методів і матеріалів. Одним з основних напрямків виготовлення порожнистих лопаток є знаходження способу з'єднання обшивки і наповнювача. В основі класифікації способів виготовлення порожнистих лопаток виступають процеси формування обшивки і внутрішніх порожнин лопатки.

Розроблений класифікатор є основою для вибору конструктивно-технологічних рішень при проектуванні лопатки. Кожен з класів має свої різновидності форм та елементів конструкції.

Список літератури

1. Fitzpatrick G.A., Cundy M.J. «Rolls-Royce's Wide Chord Fan Blade – The Next Generation» / Seventh World Conference on Titanium. San Diego, USA, June 1992.
2. G.A. Fitzpatrick, T. Broughton «Rolls-Royce Wide Chord Fan Blade» international Conference on Titanium Products and Applications. San Francisco, California, USA, October 1986.
3. Halila G., Hansen K.I. Hollow airfoils. UK № 2254892, 21.10.1992.
4. Pat. 1754857 Europe, Int. Cl.⁵ F 01 D 5/14, B 23 P 15/04, F 01 D 5/18. Hollow fan blade detail half, hollow fan blade for turbine engine and corresponding manufacturing method / Weisse, Michael A. ; proprietor United Technologies Corporation Hartford - № 06254199.0; date of filling 09.08.2006; date of publication 21.03.2012.
5. Pat. 2005/0002786 A1 United States Patent, Int. Cl.⁵ B 23 H 1/14. Hollow fan blade for turbine engine and method of manufacturing such a blade / Jean-michel Franchet and other; proprietor SNECMA MOTEURS - №10/847860; date of filling 19.05.2004; date of publication 06.01.2005.
6. Pat. 6739049 United States Patent, Int. Cl.³ B 23 P 15/00. Method of manufacturing an article by diffusion bonding and superplastic forming /Stephen Nicholson; proprietor ROLLS-ROYCE plc London - № 0754586; date of filling 10.02.2003; date of publication 25.05.2004.
7. Pat. 5240376 United States Patent, Int. Cl.⁵ F 01 D 5/18. SPF/DB hollow core fan blade / Alexander Velicki and other; proprietor McDonnell Douglas Corporation - № 738270; date of filling 31.07.1991; date of publication 31.08.1993.
8. Pat. 5826332 United States, Int. Cl.⁶ B 23 P 15/00. Method and manufacturing a hollow turbomachine blade / Mathieu Philippe Albert Bichon and other; assignees Societe Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation, Societe Dassault Aviation - № 721352; date of filling 26.09.1996; date of publication 27.10.1998.

УДК 621.73.011.001.5

Оцінка деформовності при зміцненні заготовок бандажних кілець турбогенератора

Савчинський І. Г.¹, Сивак Р. І.²

1 – Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

2 – Поліський національний університет, м. Житомир

Бандажні кільця турбогенератора призначені для утримання лобових частин електричної обмотки на роторі. Матеріал заготовок бандажних кілець повинен мати високу міцність ($\sigma_{0,2} \geq 1150$ МПа), достатню пластичність ($\delta \geq 20$ %, $\psi > 35$ %). Технологія і матеріал, що застосовуються в даний час дають можливість отримувати заготовки бандажних кілець з недостатньо високою міцністю ($\sigma_{0,2} \geq 900$ МПа). Тому необхідна розробка способу отримання заготовок бандажних кілець турбогенератора підвищеної міцності шляхом їх пластичної деформації в умовах усестороннього стиску рідиною високого тиску. Деформація в умовах усестороннього стиску дозволяє не тільки збільшити границю текучості, але і суттєво покращити структуру деформованого металу [1]. Для підвищення міцності матеріалу заготовок був розроблений спосіб зміцнення заготовок бандажних кілець гідророзтягом. Для цього були спроектовані і виготовлені прес зусиллям 300 МН і установка для зміцнення заготовок бандажних кілець рідиною під тиском до 300 МПа. Для підвищення корозійної стійкості при збереженні високої міцності заготовок бандажних кілець пропонується виготовляти їх із азотистої сталі 12Х18АГ18Ш [2].

Нові обладнання і спосіб зміцнення дали можливість виготовляти заготовки бандажних кілець, матеріал яких мав необхідний рівень міцності ($\sigma_{0,2} \geq 1150$ МПа).

Технологія містить дві послідовні операції деформаційного зміцнення методом гідравлічного розтягу. При цьому зростає відносна товщина стінки кільцевої заготовки перед першим зміцненням і, відповідно, необхідний для деформації тиск робочої рідини може перевищити значення 300-350 МПа. В цьому випадку необхідно буде або виготовляти нову насосну установку з максимальним тиском 400 МПа, або розробити спосіб безнасосної гідророздачі кільцевих заготовок.

Пропонується робити цю операцію без застосування насоса високого тиску шляхом впровадження у внутрішню порожнину заготовки, попередньо заповнену робочою рідиною, двох однакових конічних тіл з такою утворюючою конічної поверхні, яка забезпечує збереження циліндричної форми заготовки після деформації її на 20 - 30 %. Розрахунки і лабораторне дослідження при деформації моделей заготовок по такій схемі показали, що форма утворюючої конічної поверхні інструмента залежить від ступеню необхідної деформації і відношення вихідної висоти заготовки до її внутрішнього діаметру. Для кожної комбінації цих параметрів може бути вибраний свій кут конусності інструмента, який забезпечує отримання прямолінійної і циліндричної форми заготовки після заданої деформації.

На основі лабораторних досліджень розроблено пристрій для безнасосної гідророздачі заготовок бандажних кілець турбогенераторів в холодному стані на 20 - 30% по внутрішній поверхні і на 15 - 20 % - по зовнішній. Така деформація зазвичай використовується для наклепу заготовок із сталі 12Х18АГ18Ш перед рекристалізаційною термічною обробкою, що застосовується для зниження величини зерна і покращення структури заготовки. Перед деформацією такі заготовки зазвичай мають внутрішній діаметр більше 550 мм і відносну висоту (відношення висоти заготовки до її внутрішнього діаметру) в межах $1,9 \div 2,3$. У

зв'язку з таким значенням відносної висоти виключається можливість наклепу цих заготовок способом ковальської розкатки на оправці. Пристрій для безнасосної гідророздачі встановлюється на пресі 300 МН.

Деформація 30% на внутрішній поверхні буде достатньою для всього об'єму кільця і необхідних структурних перетворень в заготовці при рекристалізаційній обробці, а значення відношення середньої осевої деформації до максимальної тангенціальної деформації кільця $\beta = 0,35$ прийнято із досвіду деформації кілець на виробництві при роздачі заготовок за допомогою насоса високого тиску [3].

При безнасосній гідророздачі деформація заготовки відбувається за рахунок впровадження у внутрішню порожнину заготовки, попередньо заповнену робочою рідиною, двох конічних тіл з таким кутом конусності, який забезпечує збереження прямолінійної утворюючої в деформованій на задану величину заготовці.

Заготовка перед деформацією встановлюється між верхнім і нижнім конусами, які центруються між собою за допомогою оправки, що кріпиться на верхньому конусі, і втулки, встановленої на нижньому конусі. Оправка і втулка є змінними деталями і їх довжини залежать від розмірів деформуємих кілець. Деформація кілець на задану величину здійснюється за один хід пресу. Результати розрахунків показують, що максимальна відкрита висота штампа дорівнює 2634 мм, а максимальний робочий хід - 745 мм.

Для оцінки деформовності заготовки розрахунки виконані в наступній послідовності:

1. Визначення компонент тензора швидкостей деформацій з використанням змішаних ейлерових і лагранжевих координат та апроксимації експериментальних даних кубічними сплайнами.
2. Визначення характеристик матеріалу шляхом побудови кривої течії $\sigma_p(e_u)$, визначення функції, що характеризує ефект Баушингера $\beta(e_u)$ і спадкової функції $\varphi(e_u - e^0_u)$.
3. Визначення компонент девіатора напружень з використанням модель анізотропно зміцнюваного тіла.
4. Визначення величини використаного ресурсу пластичності на основі тензорної моделі процесу накопичення пошкоджень, яка включає в підінтегральну функцію компоненти направляючого тензора прирощень деформацій виражені через параметр Надаї-Лоде і таким чином враховує вплив третього інваріанта тензора напружень на пластичність [4, 5].

В результаті оцінки деформовності заготовки за вказаною послідовністю розрахунків максимальне значення величини використаного ресурсу пластичності серед обраних в меридіональному перерізі точок склало $\psi=0,42$.

Висновки

На основі експериментальних і теоретичних досліджень гідророзтягу заготовок бандажних кілець турбогенераторів без використання насоса високого тиску встановлені області з вичерпанням ресурсу пластичності. При розрахунку використаного ресурсу пластичності напружений стан визначено з урахуванням впливу ефекту Баушингера і спадкового впливу історії навантаження. Компоненти тензора швидкостей деформацій визначені з використанням змішаних лагранжевих і ейлерових координат. При розрахунках використаного ресурсу пластичності ψ залежність пластичності від схеми напруженого стану задавали поверхнею граничних деформацій, а історію навантаження траєкторіями в координатах безрозмірних показників напруженого стану η , μ_σ та накопиченої деформації e_u , що дозволило врахувати вплив об'ємності схеми напруженого стану.

Список літератури

1. Aliiev I., Aliieva L., Grudkina N., Zhbakov I. Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion. *Metallurgical and Mining Industry*. Dnepropetrovsk. 2011. 3. 7, pp.17–22.
2. Lin, L., Peng, W., Zhu, S., Oleksandr, M., Titov, V. Cross wedge roll bonding process for laminated shafts forming: Interface microstructure, bonding mechanism, and parameter influence. *Journal of Materials Processing Technology* this link is disabled, 2023, 317, 117971.
3. Grushko A.V., Kukhar V.V., Slobodyanyuk Y.O. Phenomenological model of low-carbon steels hardening during multistage drawing. *Solid State Phenomena*. 2017. 265 SSP, pp.114–123.
4. Titov A.V., Mykhalevych V.M., Popiel Peter, Mussabekov K. Statement and solution of new problems of deformability theory. *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments* 2018. 108085E (1 October 2018).
5. Sivak R. Evaluation of metal plasticity and research of the mechanics of pressure treatment processes under complex loading. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/7 (90), pp. 34-41.

УДК 621.7

Технології виготовлення профільованих виробів методами холодного пластичного деформування

¹І.А. Селіверстов, ¹Д.О.Дмитрієв, ²І.М.Максимів

¹Херсонський національний технічний університет

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет»

Сучасна промисловість України і світу потребує удосконалення існуючих та розробки нових технологій та отримання деталей надскладної форми. Особливе місце в цьому займають профільовані вироби отримані методами холодного пластичного деформування з профільованою внутрішньою поверхнею. Серед таких виробів розрізняють трубчасті елементи, деталі циліндричної форми, складні профільовані вироби [1].

Досить перспективною технологією отримання трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею є зовнішнє обтиснення неприводними роликми з проштовхуванням деталі на профільній оправці [2]. Для цього використовуються три- або чотирироликівна волока, профільна оправка вкладається в циліндричну трубчасту заготовку подається за допомогою пресу крізь циліндричний отвір, що утворюють неприводні ролики на регульованих опорах безстанинного типу (рис 1). Така технологія передбачає значних зусиль протягування або штовхання і суттєвих зусиль діючих на ролики є імовірність нерівномірного тиску по контактній поверхні уздовж профілю [3, 4].

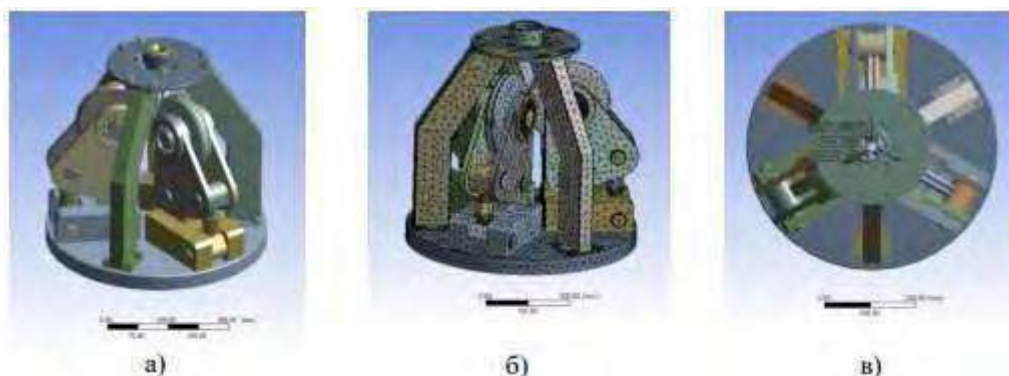


Рис. 1 - а) CAD-модель пристрою; б) сітка кінцевих елементів; в) силове навантаження на ролики

На даний час колективом авторів проводиться робота по удосконаленню і розробці існуючих і нових технологій отримання деталей з внутрішньою профільованою поверхнею.

Запропонована схема профілювання внутрішньої поверхні деталі методом повздовжньої прокатки. Для цього використовувався двовалковий прокатний стан з приводними валками які мають спеціальні калібровані рівчаки на зовнішній поверхні. Внутрішня полігональна (профільна) оправка також попередньо вкладалась в трубчасту циліндричну заготовку.

В результаті обробки отримані деталі мали високу розмірну точність, значне повздовжнє витягування, що є традиційним для даного способу, а для отримання повного обтискування було достатньо двох або трьох проходів.

Незважаючи на простоту і переваги запропонованої технології – зменшення зусиль і потужності, збільшення продуктивності процесу, існують суттєві недоліки. В процесі обробки спостерігається значна деформація вісі заготовки в повздовжньому напрямку (вигін вісі), що надалі призводить до значних зусиль вилучення профільної оправки із готової деталі.

Для усунення вказаних недоліків запропоновано профілювання внутрішньої поверхні деталі методом поперечно - повздовжньої прокатки на токарному верстаті, для чого профільована оправка встановлюється в патрон верстата і задній центр, а регульований пристрій обтискування з неприводними валками монтується на супорті токарного верстату (рис.2). Обтискування заготовки проводилося одним валком з власним гвинтовим приводом інший валок виконував функцію підпільного. Завдяки такій схемі заготовка з оправкою завжди перебуває на вісі обертання тому деформація після прокатки відсутня.

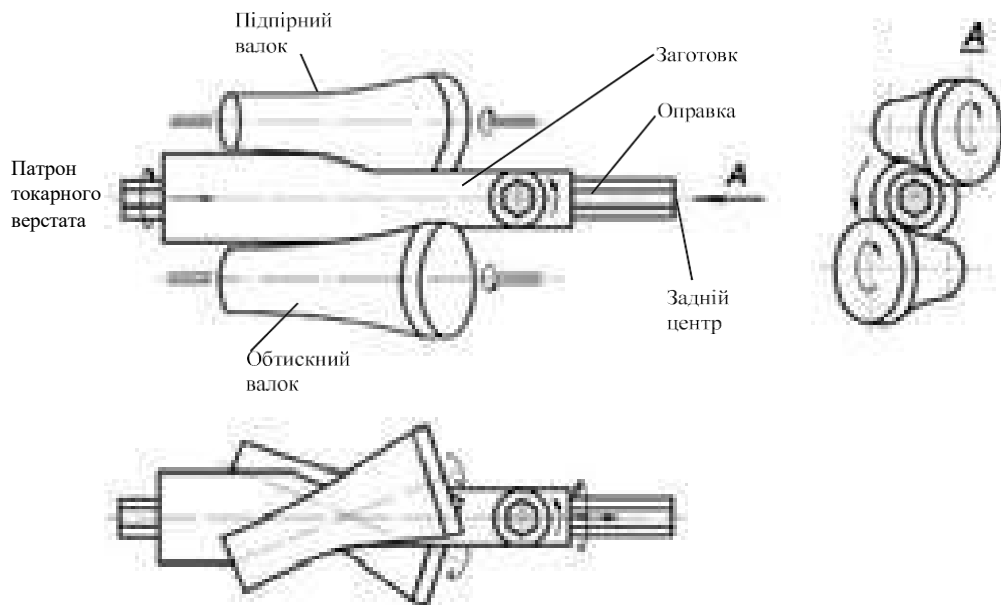


Рис. 2 – Схема обтискування з використанням токарного верстату

В роботі використовували шестигранні оправки діаметром 13 мм. з прямими гранями та гвинтовими гранями з кроком 350мм, у якості заготовок – трубчасті заготовки з внутрішнім діаметром 13 мм і товщиною стінок 2,5 мм, матеріал сталь 20.

За результатами досліджень отримані попередні результати, визначено, що технологія обкатування на токарному верстаті трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею забезпечує достатню розмірну якість (рис.3), для досягнення результату достатньо 5-6 проходів, вигін вісі відсутній, що призводить до мінімальних зусиль вилучення оправки на рівні 150-300Н. Попередньо у всіх схемах деформування вилучення оправки відбувалось на випробувальній машині РМ-5 зі спеціально розробленим пристроєм для гвинтових оправок.



Рис. 3. Деталь після обробки: а) загальний вигляд, б) поперечний вигляд

Для дослідження процесів пластичної деформації, були виготовлені зразки з відпаленої сталі 20 твердістю 83HRB, встановлено: напрямок деформації відбувається

переважно перпендикулярно вісі обертання заготовки (рис.4), спостерігається суттєве підвищення твердості з 83HRB до 89HRB по всьому перерізу деталі і відповідно збільшенню механічної міцності.

Слід зазначити, при всіх перевагах даного методу, недоліком є застосування циліндричних валків незначної товщини (20мм), що викликає значні контактні напруження на поверхні виробів і відповідно призводить до часткового відшаровування зовнішнього поверхневого шару, особливо в умовах багаторазових проходів .



Рис. 4. Мікроструктура сталі 20 після відпалу 920С × 500: а) переріз до пластичного деформування . б) переріз після пластичного деформування

Висновки. За результатами аналізу технологій отримання профільованих отворів, встановлено, що на якість отриманих виробів впливає схема реалізації процесу, технологічні режими, форма валків. Тому наступним етапом дослідження планується використання валків складної форми з реалізацією того ж принципу на токарному верстаті, виготовлення пристосування для процесів холодної пластичної деформації для поперечного і повздовжнього прокатування ролика на оправці, вивчення властивостей матеріалів, деформації зерен по перетинах надскладних виробів.

Список літератури

1. Розов Ю. Г. Технології виготовлення прецизійних трубчастих виробів холодним пластичним деформуванням: монографія / Ю. Г. Розов. - Херсон: Вид-во Херсонського національного технічного університету, 2013. - 336 с.
2. Розов Ю. Г. Моделювання і конструктивне забезпечення технології виготовлення трубчастих виробів з профільною поверхнею / Ю. Г. Розов, Д. О. Дмитрієв, С.А.Русанов, Д. Д. Федорчук // Вісник Херсонського національного технічного університету. - Херсон. ХНТУ. - 2020. - №3 (74), С. 38-44.
3. Шейкін С. Є. Про контактну взаємодію твердосплавних деформуючих протяжок із заготовкою при формоутворенні пазів в отворах трубчастих виробів/ С.Є. Шейкін, О.В. Грушко, В.В. Мельниченко, С.Ф. Студенець, І.Ю. Ростоцький, Д.В. Єфросінін, Я.В. Мельниченко// Науковий журнал Надтверді матеріали, 2021, №3. - С. 91-101.
4. Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2001. 201 с.

УДК 539.3

Моделювання процесу інкрементного формування листових деталей напівсферичної форми в програмному комплексі Abaqus

А.Д. Лавріненко, М.О. Авєрков, Н.К. Злочевська, А.В. Кліско

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: В роботі розглянуто процес інкрементного формування деталі напівсферичної форми з листової заготовки. За наявною методикою було розраховано траєкторію руху деформуючого інструменту. Було проведено моделювання процесу інкрементного формування методом скінчених елементів для визначення зусилля деформування, товщини стінки після формування, напружено-деформованого стану.

Ключові слова: інкрементне формування, метод скінчених елементів, напружено-деформований стан

Формування напівсферичних деталей є доволі складним процесом для класичного штампування, витяжки. Тому проведено моделювання більш сучасним методом, одноточковим інкрементним формуванням. Принцип інкрементного формування полягає в тому, що за допомогою локального навантаження матеріалу інструментом, який рухається за певною траєкторією відбувається деформація.

Для моделювання була обрана півсферична деталь із фланцем радіусом 50 мм (рис. 1). Моделювання було проведено в програмному комплексі Abaqus. Схема процесу показана на рис. 2.

Метою цієї роботи є оцінка напружено-деформованого стану деталі та товщини стінки деталі після деформування моделювання процесу інкрементного формування деталі півсферичної форми.



Рис. 1. Півсферична деталь

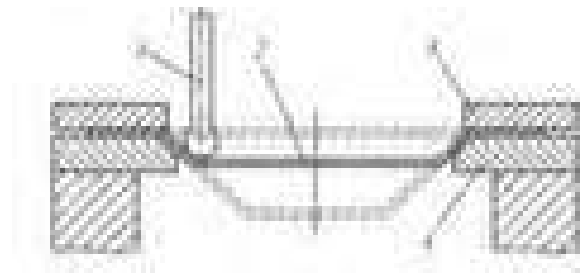


Рис. 2. Схема процесу:
1 – деформуючий інструмент; 2 – заготовка; 3 – притискач; 4 - матриця

Параметри моделювання:

- Швидкість формуючого інструменту $V_0 = 30$ мм/с;
- Коефіцієнт тертя $\mu = 0,15$;
- Матеріал - ALUMINUM-7075, товщиною 2 мм (аналог B95);
- Модуль Юнга = 70 ГПа;
- Коефіцієнт Пуассона = 0,33;
- Щільність = 2,7 г/см²

На рис. 3 зображено траєкторію руху деформуючого інструменту (він абсолютно жорстке тіло), який був розрахований в програмі MathLab. Так як процес моделювання

контактної задачі доволі тривалий, було прийняте рішення в якості типу скінченного елемента обрати мембрану із аналітичним розрахунком товщини матеріалу (рис. 4).

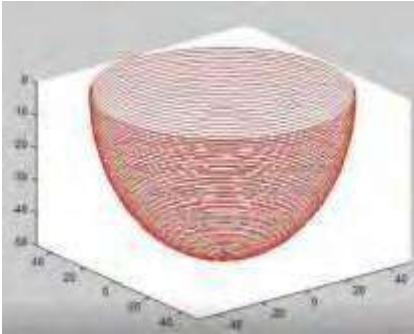


Рис. 3. Траєкторія руху інструменту

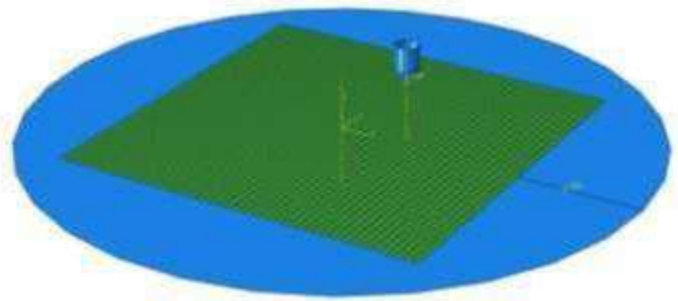


Рис. 4. Скінчено елемента модель на початку деформування

В результаті моделювання було встановлено, що найбільші зусилля на формуючому інструменті становлять:

по осі X показано на рис. 2, $F = 4032$ Н;

по осі Z показано на рис. 3, $F = 7293$ Н;

по осі Y показано на рис. 4, $F = 4132$ Н;

На рис. 5 та рис. 6 представлені графіки зміни зусилля деформування під час деформування. Зусилля деформування приймає максимальні на середині протікання процесу, потім починає зменшуватися. Зменшення зусилля деформування можна пояснити поступовим потоншенням стінки заготовки

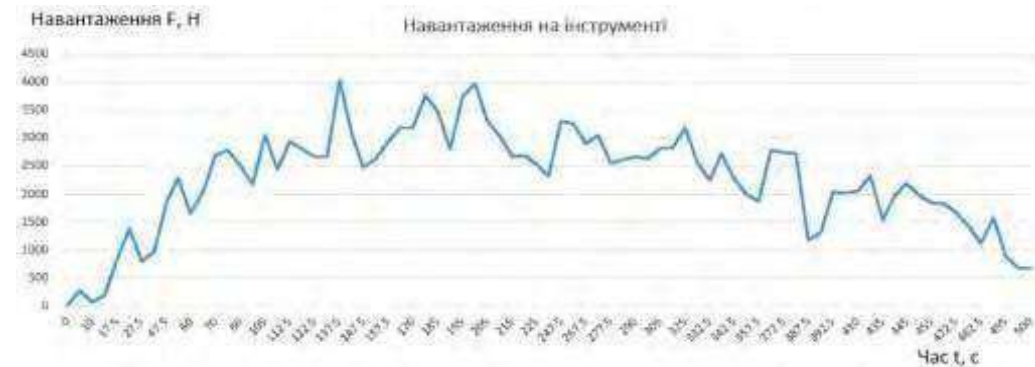


Рис. 5. Навантаження на інструменті по осі X та Y

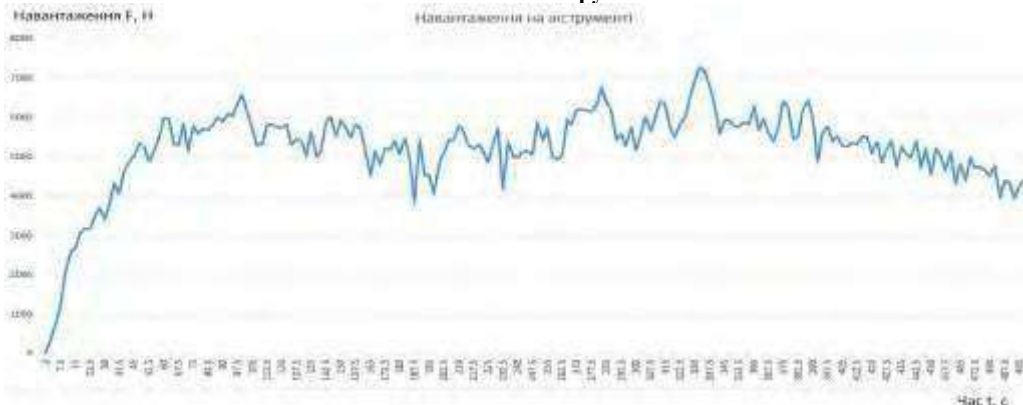


Рис. 6. Напруження на інструменті по осі Z

Потоншення стінки відбулося до 1 мм рис. 7. На відміну від процесу отримання даної деталі в штампі за один хід сферичного пуансону, де потоншення стінки відбувається в нижній точці напівсферичної деталі (максимальне потоншення – 1,57 мм), при

інкрементному штампуванні відбувається потоншення біля радіусу матриці і до нижньої точки деталі починає збільшуватись до 2 мм.

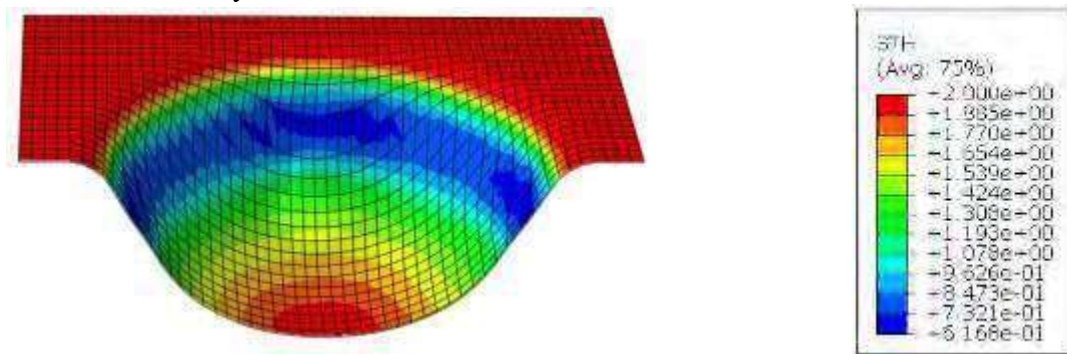


Рис 7. Розподіл товщини стінки деталі

На рис. 8-11 показано розподіл НДС матеріалу деталі.

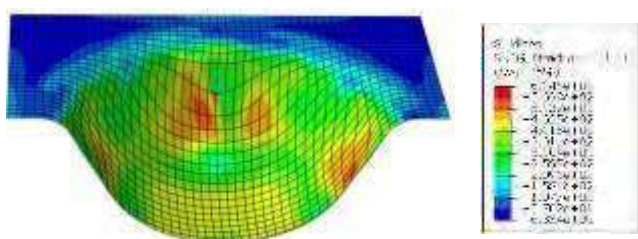


Рис 8. Розподіл інтенсивності напружень по Мізесу

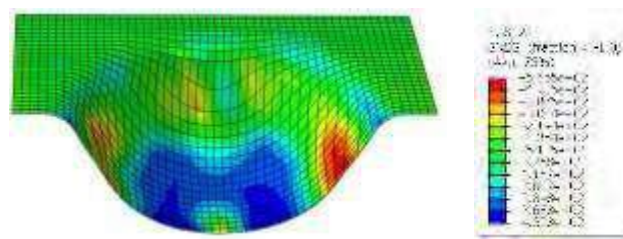


Рис 9. Розподіл напружень σ_x

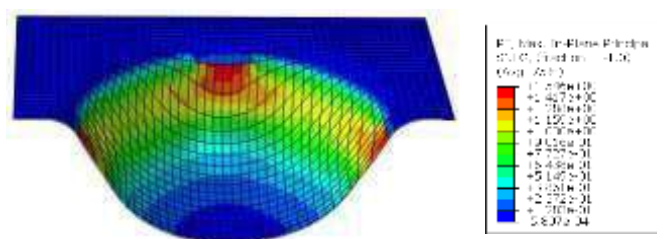


Рис 10. Розподіл максимальних пластичних деформацій

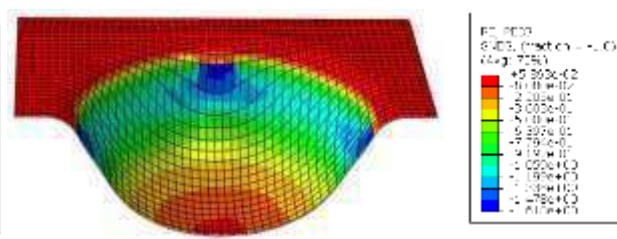


Рис 11. Розподіл пластичних деформацій ϵ_z

ϵ_{max}

Висновки

Руйнування заготовки не відбувається, найбільше потоншення відбувається на боковій частині деталі, а найменше в донній частині. Інкрементне формування є досить перспективним процесом, за допомогою якого можна отримувати деталі складної конфігурації із листового матеріалу. Отримані результати будуть використані при проектуванні лабораторної установки для реалізації процесу інкрементного формування

Modeling of the process of incremental forming of hemispherical sheet parts in the Abaqus software complex

A. Lavrinenkov, M. Averkov, N. Zlochevska, A. Klisko

Abstract: *The paper examines the process of incremental forming of a hemispherical part from a sheet blank. According to the existing methodology, the trajectory of the deforming tool was calculated. Modeling of the incremental forming process using the finite element method was carried out to determine the deformation force, the wall thickness after forming, and the stress-deformed state.*

Keywords: *incremental forming, finite element method, stress-strain state*

UDC 621.77.043

Research of different deformation schemes for obtaining a fine-grained structure of the material

Nataliia Zlochevskaya, Anton Lavrinenkov, Oleksandr Us, Andrii Klisko

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract: The task of modeling was to establish the degree of filling of the matrix channel. The most complete filling occurs with the screw widening pressing scheme. The percentage of filling is 90-95%. With the polygonal pressing scheme, the filling of the matrix channel was 50-60%. With the screw widening pressing scheme, we can talk about the plastic deformation of the workpiece material along the entire cross section of the workpiece. The smallest plastic deformation corresponds to the middle of the workpiece. For the maximum processing of the workpiece material in order to obtain a crushed microstructure, pressing requires work in two passes.

Key words: screw widening pressing, polygonal pressing, multi-angular pressing, shear deformations, plastic deformation, workpiece

The use of materials with a fine-grained structure in modern machinery and aircraft construction is promising due to the improvement of mechanical properties after processing. Currently, the methods of intensive plastic deformation (IPD) are known all over the world, they include equal-channel angular pressing [1], torsion under pressure [2], screw extrusion [3], screw widening pressing [4], etc.

Depending on the pressing scheme, the amount of plastic deformation of the material will be different. Accordingly, working out the structure of the material of the workpiece will be different, which in the real process will affect the microstructure of the workpiece.

The goal of the work research of different deformation schemes for obtaining a fine-grained structure of the material.

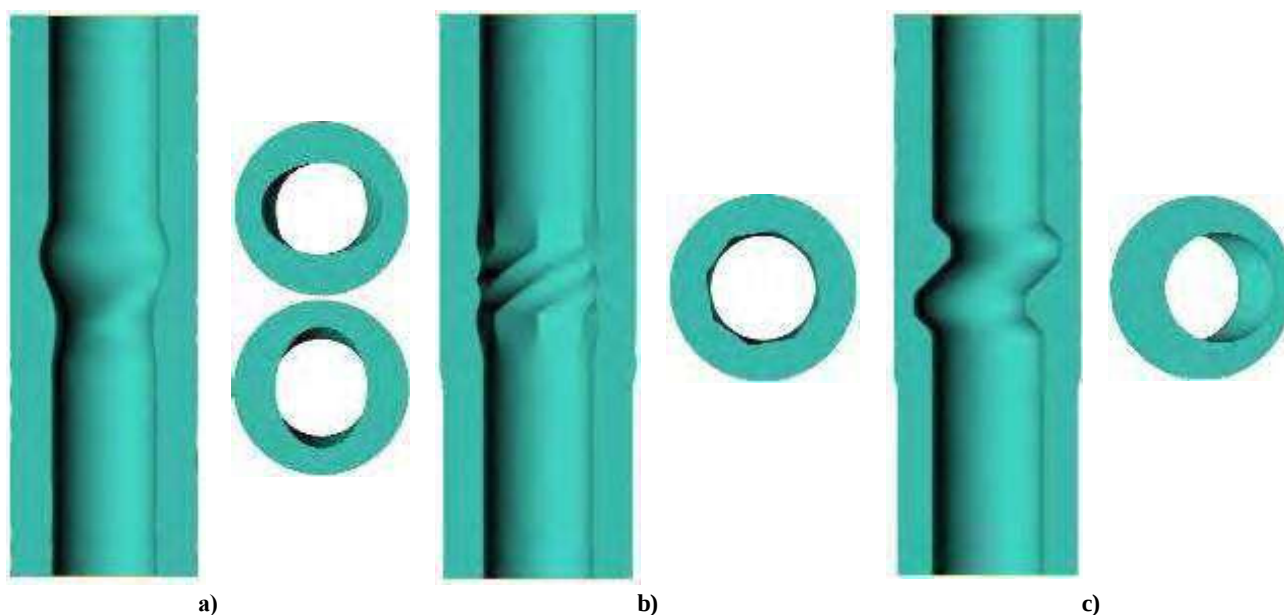
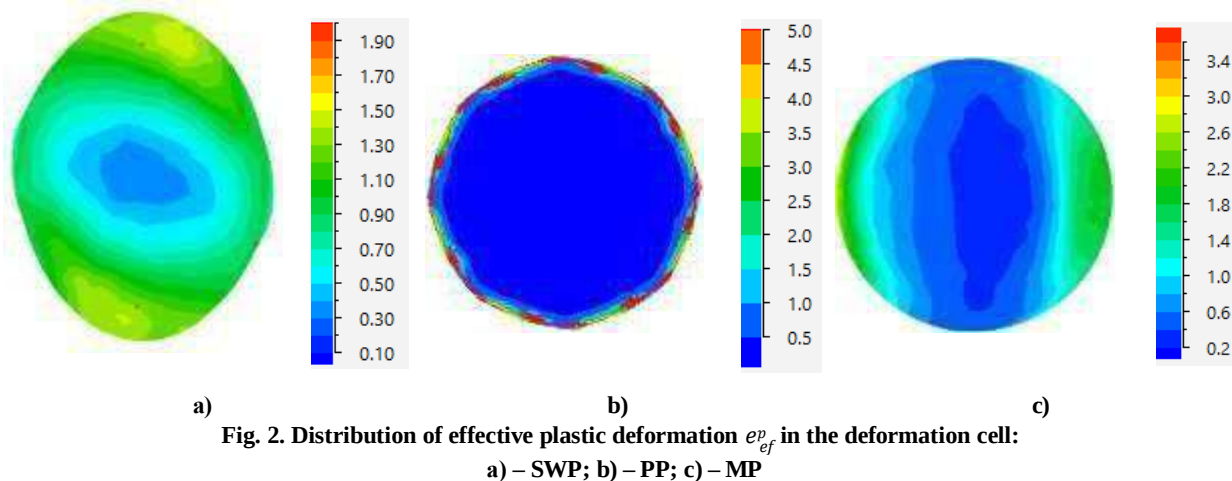


Fig. 1. Schemes of pressing
a) – SWP; b) – PP; c) – MP

The following pressing schemes were selected for modeling: screw widening pressing (SWP), polygonal pressing (PP) and multi-angular pressing (MP) (Fig. 1). In fig. 1 shows cross-

sections of areas of the matrix where intense plastic deformations occur. Modeling was carried out using the finite element method (FEM) in the QForm program. Parameters of the modeling process: type of operation - deformation taking into account thermal processes; workpiece material - VT-22; workpiece temperature - 920°C; equipment - screw press hammer with a force of 250 tons; the number of blanks (except for angular pressing) is two (the second acts as a counter-pressure).

The task of modeling was to establish the degree of filling of the matrix channel. For better filling of the matrix channel, the blanks are pressed continuously (the previous blank acts as a counter pressure). The most complete filling occurs with the SWP scheme. The percentage of filling is 90-95%. With the PP scheme, the filling of the matrix channel was 50-60%. With the BP scheme, it was not possible to implement the scheme of continuous pressing. Plastic deformation occurs at the first corner transition. To fill the second corner transition, it is necessary to apply back pressure with a hydraulic cylinder, since the previous workpiece does not create the necessary force. Given this, the most effective pressing scheme is the SWP itself. According to the simulation results (Fig. 2), it can be said that the pressing scheme in which plastic deformation of the maximum volume of metal occurs corresponds to the scheme of SWP.



It was established that with the PP scheme, effective plastic deformation of the material occurs near the surface of the workpiece. The depth of deformation propagation is 1.5-2.5 mm. With the SWP scheme, we can talk about the plastic deformation of the workpiece material along the entire cross section of the workpiece. The smallest plastic deformation corresponds to the middle of the workpiece. The depth of propagation of plastic deformation is 6-9 mm. But due to the peculiarities of the matrix channel, intense plastic deformation occurs with the SWP scheme (changing the cross-section of the matrix circle-ellipse-ellipse (90°C rotation)-circle) the working of the material takes place on both sides of the workpiece, and at an angle corresponding to the angle of change in the cross-section of the matrix (Fig. 3). For the maximum processing of the workpiece material in order to obtain a crushed microstructure, pressing requires work in two passes. Also, in order to prevent repeated deformation of the same parts of the workpiece, at the entrance to the matrix, the workpiece must be turned by 90 ° in relation to the first pass of the workpiece. If this condition is met, the processing of the workpiece material during pressing according to the SWP scheme will be maximum. The same condition must be observed when pressing according to the MP scheme (Fig. 1, c).

According to the SWP scheme, the depth of plastic deformation is 3-6 mm. But if two corner transitions of the matrix are completely filled with material, then the depth and magnitude of plastic deformation of the material will be increased. If we compare pressing schemes by the amount of plastic deformation, the most effective is the scheme of multi-angle pressing, followed by screw widening pressing. The least effective pressing scheme is the polygonal pressing scheme.

Conclusions

1. It was established that with the PP scheme, effective plastic deformation of the material occurs near the surface of the workpiece. The depth of deformation propagation is 1.5-2.5 mm
2. The smallest plastic deformation corresponds to the middle of the workpiece. The depth of propagation of plastic deformation is 6-9 mm.
3. For the maximum processing of the workpiece material in order to obtain a crushed microstructure, pressing requires two passes. Also, in order to prevent repeated deformation of the same parts of the workpiece, at the entrance to the matrix, the workpiece must be turned by 90° in relation to the first pass of the workpiece.

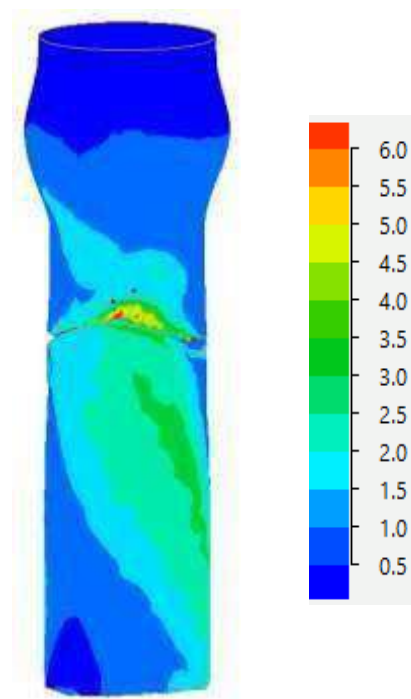


Fig. 3. Plastic deformation of the workpiece according to the SWP scheme

Reference

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 et al. // High pressure physics and technology. - 2004. - volume 14, number 4, pp. 9 - 18.
3. Beigelzimer J.E. Semi-continuous screw extrusion / Ya.E. Beigelzimer, D.V. Prylenko, S.G. Synkov // High pressure physics and technology. - 2007. - volume #17, #2, p. 100-104.
4. Pat. 64346 of Ukraine, IPC B21C25/00 Matrix for strengthening material during repeated pressing /V.A. Titov, M.S. Tryvaylo, N.K. Zlochevska, E.V. Kondratyuk, G.I. Psychev. - No. u201102822; statement 10.03.2011; published 10.11.2011, Bull. 21

Дослідження різних схем деформування для отримання дрібнозернистої структури матеріалу

Злочевская Н.К., Лаврієнков А.Д., Ус О.В., Кліско А.В.

Анотація Задачею моделювання було встановлення ступеня заповнення каналу матриці. Найбільш повне заповнення відбувається при схемі ГУП. Процент заповнення складає 90-95%. При схемі ПП заповнення каналу матриці склало 50-60%. При схемі ГУП можна говорити про пластичну деформацію матеріалу заготовки по всьому поперечному перерізу заготовки. Найменша пластична деформація відповідає середині заготовки. Для максимального пропрацювання матеріалу заготовки з метою отримання подрібненої мікроструктури, пресування потрібно робити за два проходи..

Ключові слова: гвинтове уширяюче пресування, полігональне пресування, багатокутове пресування, зсувні деформації, пластична деформація, заготовка.

УДК 621.73.16, 621.983.07

Моделювання процесу витягування з потоншенням напівфабрикату після штампування обкочуванням

С.П. Гожій, В.А. Мироненко, А.Д. Лавріненков, А.В. Кліско
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: В даній роботі розглянуто процес витягування з потоншенням напівфабрикату після штампування обкочуванням. Штампуванням обкочуванням було попередньо сформовано донну частину стаканчика. Завдяки моделюванню витягування з потоншенням було проаналізовано зміна форми донної частини під час витягування.

Ключові слова: штампування обкочуванням, витягування з потоншенням, моделювання, метод скінченних елементів

В попередній роботі розглянуто можливість отримання складної донної частини штампуванням обкочуванням під наступне витягування з потоншенням.

На рис.1. представлено креслення вихідної деталі та ескізу з припуском на обрізуванням.

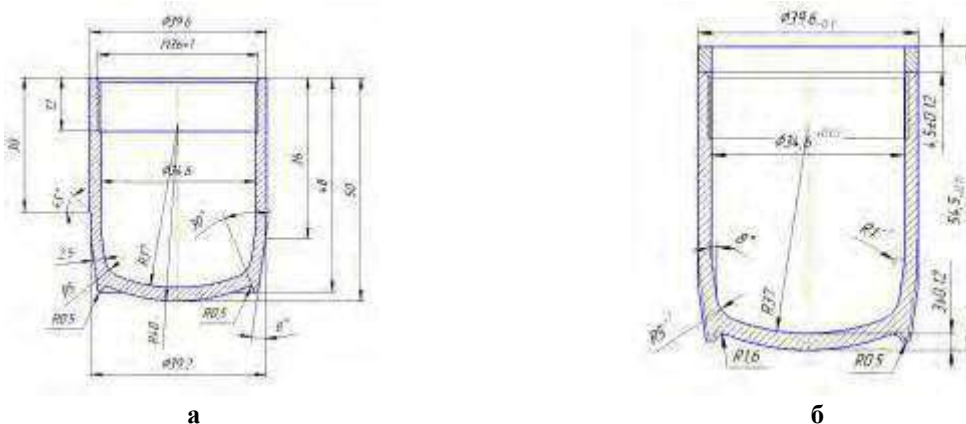


Рис.1. а - креслення деталі; б – креслення деталі з припуском на обрізування

Враховуючи те що кінцева форма деталі буде отримуватись витягуванням з потоншенням, потрібно додати припуск на обрізування який складає 4,5 мм [1], розмір вихідної заготовки 68,64 мм, товщина заготовки 5 мм. Розміри напівфабрикату під наступне витягування є наступними діаметр отриманої заготовки 84 мм та її товщини 3,1 мм.

Для подальшого моделювання процесу витягування з потоншенням розрахуємо кількість переходів, приблизний діаметр після розкочування 84мм. Знаючи діаметр заготовки та кінцевої деталі, розрахуємо коефіцієнт витяжки.

$$m = \frac{d}{D_3} = \frac{39,6}{84} = 0,47$$
$$m = 0,46 - 0,50$$

Коефіцієнт витягування знаходиться в допустимому діапазоні, виходячи з цього діаметр після першого переходу становить $d=0,47 \cdot 84=39,48$ мм, деталь можна отримати за один перехід витягування з потоншенням.

Для визначення параметрів витягування з потоншенням, було здійснено чисельне моделювання в програмному комплексі «DEFORM-3D».

Параметри які було задано при моделюванні:

- матеріал – AISI 1035 (аналог сталі 35);

- коефіцієнт тертя $\mu=0,12$;
- температура процесу – 20 С;
- швидкість переміщення інструменту 2 мм/с.

На рис.2. представлено напівфабрикат після штампування обкочуванням під наступне витягування з потоншенням.



Рис.2. Напівфабрикат після штампування обкочуванням

Результати моделювання витягування з потоншенням представлені на рис.3.

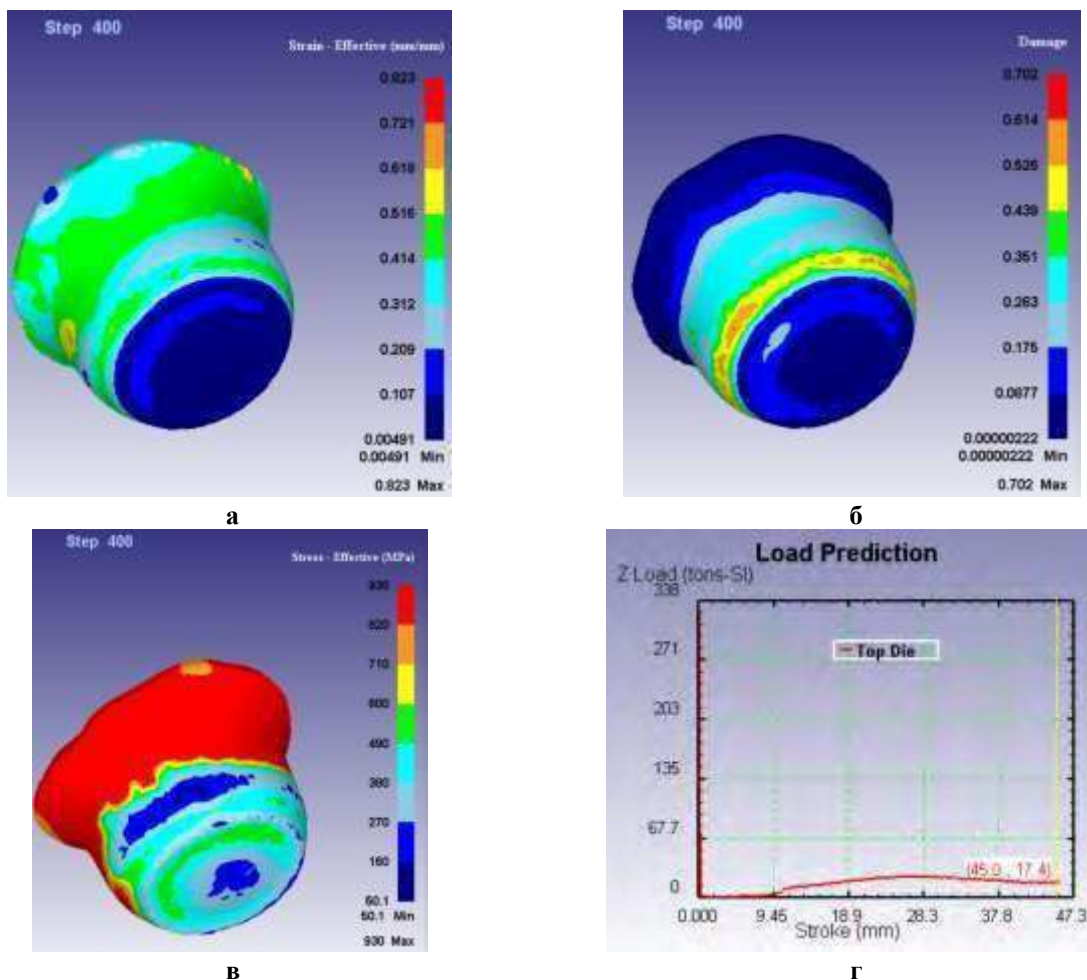


Рис.3. Результати моделювання: а – інтенсивність деформації; б – критерій руйнування; в – напруження на інструменті; г – зусилля витягування

Отримані результати показали, що в зоні донної частини поблизу сформованого буртика можлива руйнація заготовки. Також моделювання показало вірогідність руйнації буртика, якщо порівняти результати та вихідну заготовку то донна частина стає плоскою хоча повинна не втрачати своєї форми і відповідати формі кінцевої деталі.

З отриманих результатів можемо зробити висновок, що така схема витягування, кількість переходів не підходить для отримання якісної проміжної деталі. Для того, щоб можна було отримати таку деталь і зменшити зусилля витягування, збільшуємо кількість переходів з одного на три, тим самим зменшуємо навантаження на донну частину. Перший перехід витягування буде відбуватись плоским пуансоном, два інші матимуть сферичну форму.

На рис.4. представлено інтенсивність деформації на кожному з переходів.

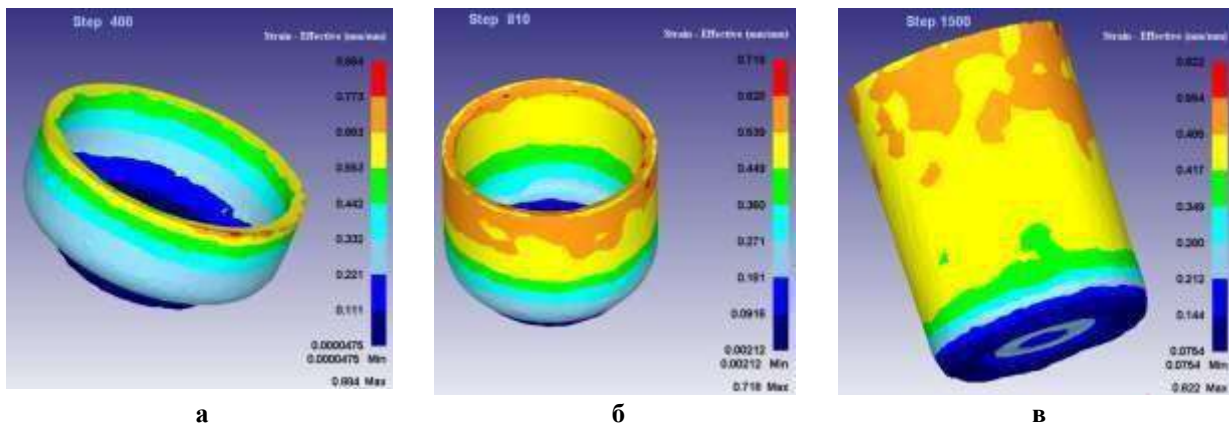


Рис.4. Інтенсивність деформації:

а – перший перехід; б – другий перехід; в – третій перехід

На рис.5. представлено критерій руйнування на кожному з переходів.

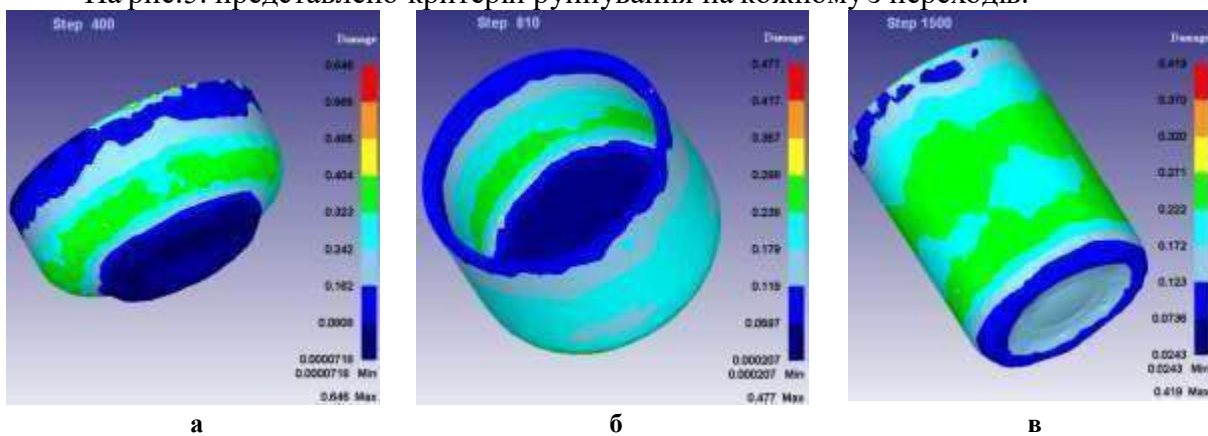
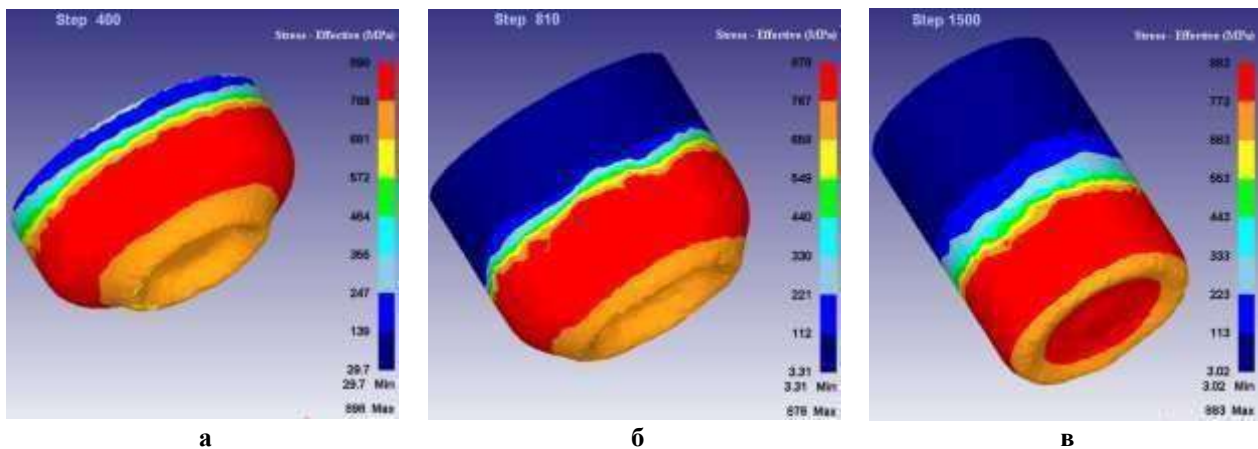


Рис.5. Критерій руйнування:

а – перший перехід; б – другий перехід; в – третій перехід

На рис.6. представлено напруження на інструменті на кожному з переходів.



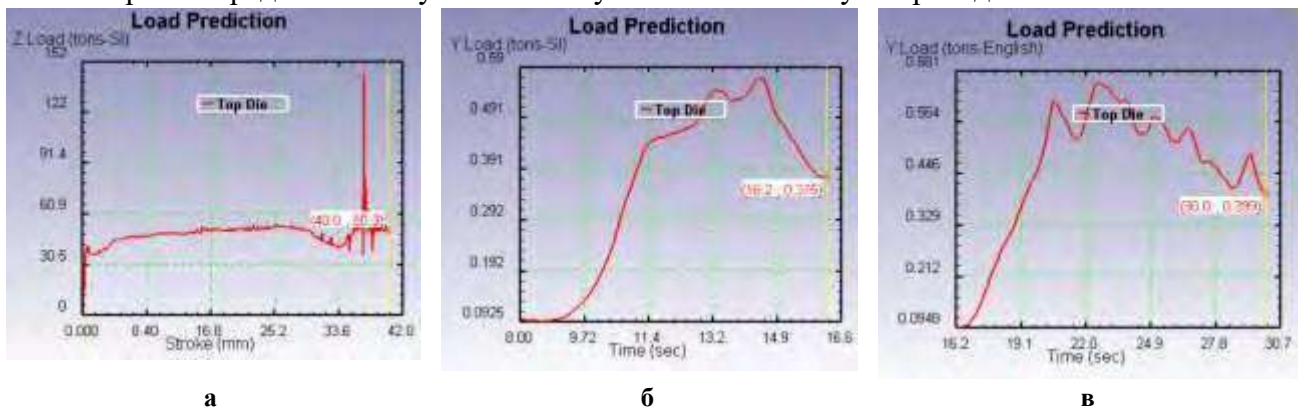
а

б

в

Рис.6. Напруження на інструменті:
а – перший перехід; б – другий перехід; в – третій перехід

На рис.7. представлено зусилля витягування на кожному з переходів.



а

б

в

Рис.7. Зусилля витягування:
а – перший перехід; б – другий перехід; в – третій перехід

Висновки

Отримані результати показали, якщо збільшити кількість переходів та змінити форму пуансона на першому переході на плоску, донна частина менше втрачає стійкість. Це пояснюється тим, що зменшується зусилля витягування та навантаження на донну частину.

Список літератури

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1979. 520 с.
2. Алиев И. С. Развитие локальных методов обработки металлов давлением / И. С. Алиев, В. А. Матвийчук // Обработка материалов давлением. – 2008. – № 1(19). – С. 201–206.
3. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. – Краматорск: Донбас. гос. машиностроит. академия, 2009. – 268 с.
4. Гожий С. П. Интенсификация формообразования конструктивных элементов при штамповке обкатыванием с активными силами трения / С. П. Гожий, А. В. Клиско, А. И. Носенко // Вісн. Нац. техн. ун-ту “Харьков. политехн. ин-т”. – 2011. – Вип. 45. – С. 113–119.
5. Справочник конструктора штампов : Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.

Modeling of the drawing process with thinning of the semi-finished product after rolling stamping

S. Gozhii, V. Myronenko, A. Lavrinenkov, A. Klisko

Abstract: In this work, the process of drawing with thinning of the semi-finished product after stamping by rolling is considered. The bottom part of the cup was preformed by rolling stamping. Thanks to the simulation of drawing with thinning, the change in the shape of the bottom part during drawing was analyzed.

Key words: rolling stamping, detail drawing, sketch, process diagram, trimming allowance, drawing with thinning, modeling.

УДК 621.7

Технологія виготовлення корпусу гранати підвищеної осколкової калібром 40мм

Піманов В.В.¹, Орлюк М.В.¹, Савченко Д.В.².

1. КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

2. ДП «Укроборонсервіс» м. Київ

Одними з ефективних видів боєприпасів для ведення вогню на відстані від 400 метрів до 2000 метрів є гранатометні постріли. Найбільш розповсюдженими серед них є боєприпаси стандарту НАТО осколково-фугасної та кумулятивної дії калібром 40мм. Такі боєприпаси можуть застосовуватися не тільки в автоматичних, а і в ручних чи підствольних гранатометах.

Загальна конструкція боєприпасу складається з гранати, що має підричник, та гільзи з металевим зарядом [1; 2]. Підричник є найбільш складною одиницею виробу, але на ефективність дії гранати також впливає кількість вибухової речовини та конструкція корпусу гранати [3]. Ефективність дії самої гранати залежить від параметрів осколкового поля, маси та форми осколків [4]. Слід відмітити, що у різних країнах та у різних виробників є свої конструктивні особливості, які дуже залежать від технологічних можливостей виробництва [4; 5]. Є досить велика кількість різних технологій, що дозволяють отримувати заготовки або навіть готові корпуси гранат [6].

На сьогоднішній день більшість виробництв виготовляють корпуси гранат механічною обробкою з круглого прокату із сталі 35...50 або сталі 40Х на токарних автоматах, які забезпечують високу продуктивність. Таке виробництво є масовим і потребує впровадження нових або вдосконалених технологій, які дозволять не тільки підвищити економічність виробництва, а й характеристики виробу в цілому. У випадку отримання деталей механічним різанням з прута недоліком є малий коефіцієнт використання матеріалу, оскільки значна його частина йде у відхід у вигляді стружки. В даній роботі запропонований варіант виготовлення корпусів методами пластичного формоутворення.

Метою роботи є за допомогою програмного комплексу DEFORM розробити технологію виготовлення корпусу гранати калібром 40мм. з прогнозованим утворенням елементів ураження.

Для проведення досліджень було обрано діючу конструкцію корпусу гранати калібром 40мм до гранатометного пострілу зразка НАТО (рис. 1, а) та введено конструктивні зміни (рис. 1, б), з урахуванням технології виготовлення, для підвищення ефективності осколкової вказаної гранати.

Особливістю даного корпусу є те, що він має на внутрішній поверхні концентратори для більш рівномірного дроблення корпусу з ефективною масою осколку. За рахунок нанесених концентраторів можливо прогнозувати кількість, форму та масу осколків.

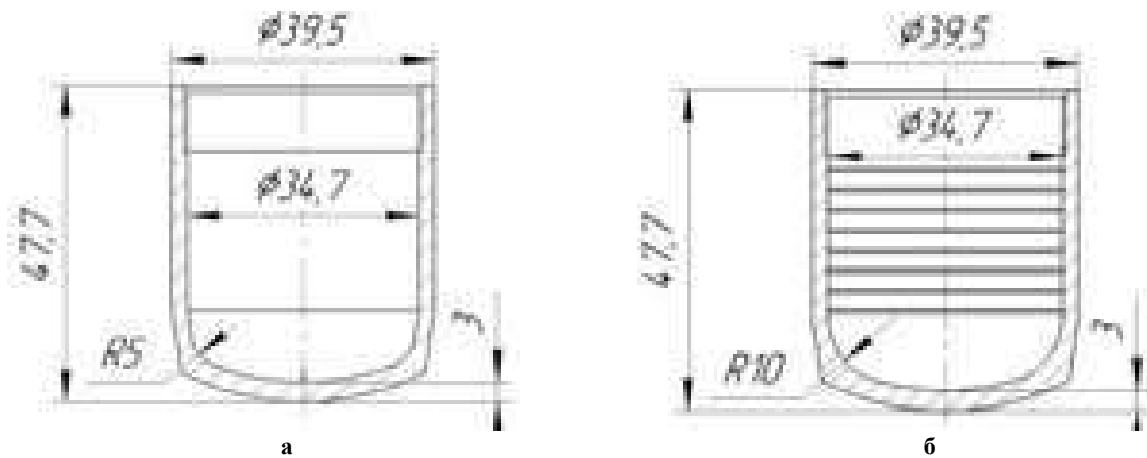


Рис. 1. Ескізи корпусів

Технологія виготовлення корпусу заготовки передбачає отримання концентраторів на його внутрішній поверхні шляхом формоутворення пластичною деформацією.

Для отримання корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу запропоновано наступний технологічний ланцюг: вирубка з листа чи зі смуги плоскої заготовки (рис. 2, а), гаряче профілювання плоскої заготовки (рис. 2, б), травлення від окалини та фосфатування поверхні заготовки під нанесення змащення, карбування на плоскій стороні заготовки концентраторів (рис. 2, в), холодне витягування з потоншенням заготовки (рис. 2, г), механічна обробка до кінцевої форми та розмірів (рис. 2, д).

Для виготовлення деталі було запропоновано використати сталь 10 [7]. Використання матеріалу з меншою межею міцності і більш високою пластичністю, ніж традиційні матеріали для виготовлення корпусів гранат, дозволяє скоротити кількість поопераційних переходів витягування, зменшити зусилля процесів, підвищити стійкість інструментів, і, при цьому, отримувати вироби з прогнозованими механічними властивостями за рахунок

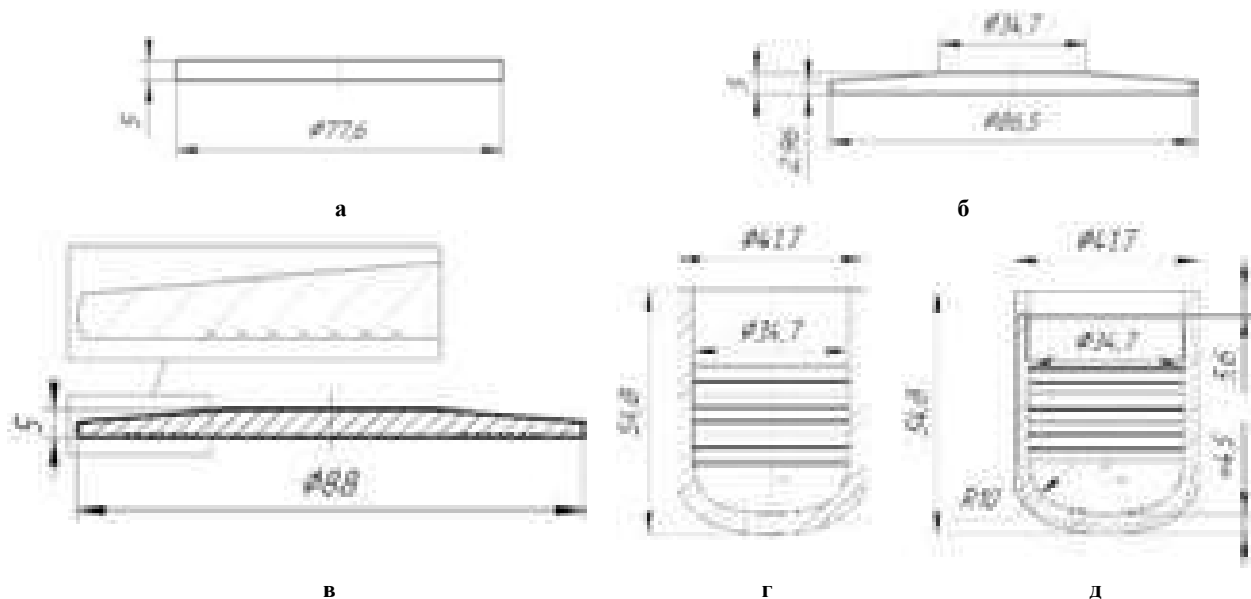


Рис. 2. Поопераційні переходи формозмінюючих операцій отримання деталі

зміцнення в процесі холодної пластичної деформації [8].

Форму та розміри профільованої заготовки підібрано експериментально розрахунковим шляхом [9] в програмному комплексі DEFORM [10]. Програмний комплекс DEFORM 2D/3D дозволяє моделювати формозмінні операції, дає можливість прогнозувати

отримання виробів необхідної форми та розмірів, дозволяє визначити енергосилові параметри процесів, а також напружено-деформований стан, який характеризує якісні властивості виробів.

Було проведено чисельне моделювання для процесів гарячого профілювання, карбування концентраторів та витягування. Для моделювання використовували матеріал AISI-1010 (закордонний аналог сталі 10). Модель матеріалу пластична. Критерій руйнування Brozzo. В процесі відповідно до технологічного переходу враховували тертя між деформуючим інструментом та заготовкою по Зібелю з коефіцієнтом 0,12, також для гарячого процесу враховували тепловіддачу нагрітої заготовки між навколишнім середовищем та робочим інструментом. Швидкість переміщення пуансона – 5 мм/с.

Гаряче профілювання здійснюється за рахунок осадження фланцевої частини заготовки перемінним перерізом (конусною формою), вихідні розміри якої показані на рис. 2, а. Розрахункова схема процесу профілювання заготовки наведена на рис. 4.

При моделюванні була задана початкова температура заготовки 860-750°C, а температура деформуючого інструменту 300°C. Робочий хід пуансона становив 1,8 мм, зусилля деформування складає 2,78 МН.

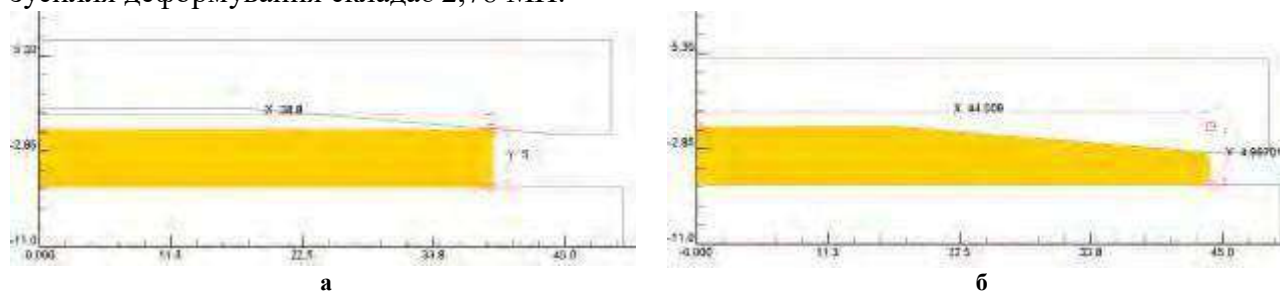


Рис. 4. Розрахункова схема процесу гарячого профілювання заготовки:
а) у вихідному положенні; б) у кінцевому положенні

В процесі моделювання було встановлено зміну температури в об'ємі здеформованої заготовки від 800 до 650. При цьому максимальні значення критерію руйнування K_p складають до 0,1 у місці мінімальної температури. У найтоншому місці кінцевого фланця інтенсивність деформації досягає значення 0,7. На плоскій частині потоншеного кінцевого фланця, при максимальному зусиллі процесу 2,78 МН, максимальні значення інтенсивності напружень досягають 350 МПа.

Після отримання спрофільованої заготовки нанесення концентраторів пропонується провести карбуванням у холодному стані. Розрахункова схема процесу карбування наведена на рис. 5. При переміщенні пуансона 0,45 мм зусилля деформування складало 2,3 МН.

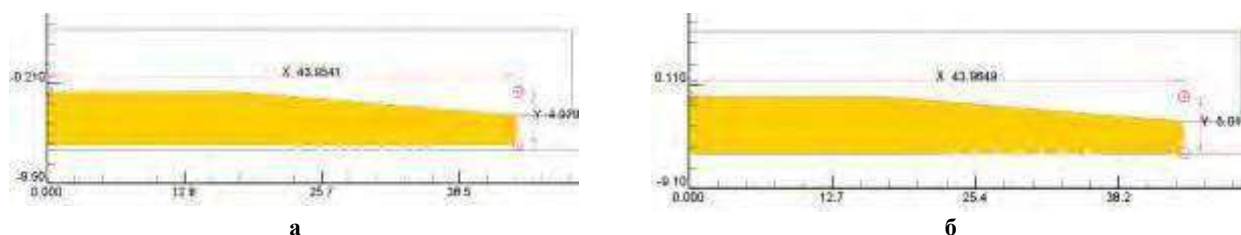


Рис. 5. Розрахункова схема процесу карбування концентраторів на заготовці:
а) у вихідному положенні; б) у кінцевому положенні

За результатами моделювання карбування встановлено, що у місцях карбування концентраторів, максимальні значення критерію руйнування K_p досягають 0,15. В цьому ж

місці максимальні значення напруження складають 700 МПа. У найтоншому місці конічного фланця інтенсивність деформації досягає значення 0,65.

Наступною операцією є витягування з потоншенням у двохконусну матрицю. Розрахункова схема процесу витягування наведена на рис. 6.

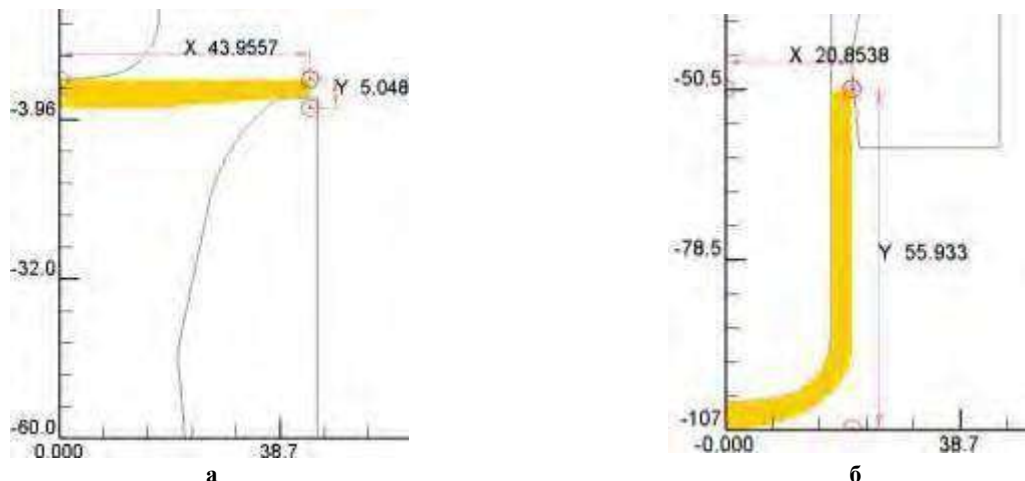


Рис. 6. Розрахункова схема процесу витягування з потоншенням:
а) у вихідному положенні; б) у кінцевому положенні

При моделюванні процесу витягування максимальне зусилля склало 250кН. Також встановлено, що значення критерію руйнування K_p в об'ємі деформованої заготовки досягають 0,8 в зовнішній радіусній частині та в місцях концентраторів (рис. 7). Максимальне значення інтенсивності деформації складає 1,1 (рис. 8) у верхній частині циліндричної заготовки.

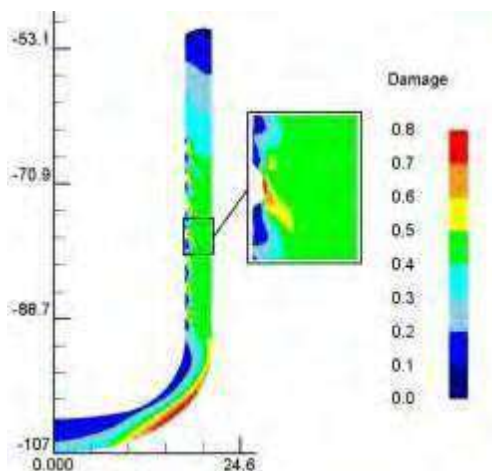


Рис. 7. Значення критерію руйнування K_p в об'ємі деформованої заготовки

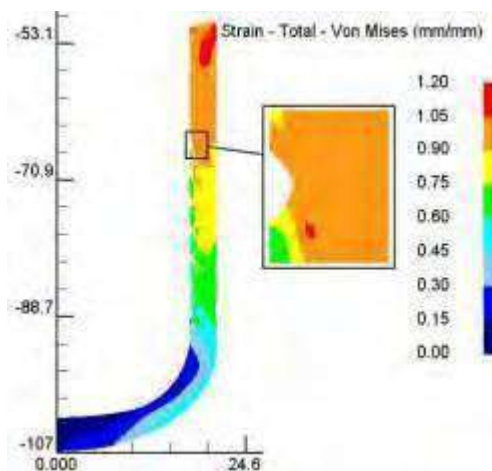


Рис. 8. Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі zdeформованої заготовки

Вказані параметри дозволяють прогнозувати якісні характеристики матеріалу після деформування, які будуть використовуватись в подальших дослідженнях по впливу технологічних параметрів на осколковість корпусу гранати.

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що за вказаною технологією можна отримати заготовку корпусу для осколкової гранати калібром 40мм зразка НАТО з прогнозованими елементами ураження. В результаті моделювання було отримано прогнозовані механічні властивості матеріалу корпусу гранати, які будуть використовуватись в подальших дослідженнях по впливу технологічних параметрів на осколковість корпусу гранати.

Список літератури

1. Постріл гранатометний : пат. 124912 Україна : F42B 12/02, F42B 30/08, F42C 1/04, F42C 9/16, F42C 15/36. № а 2020 06281 ; заявл. 28.09.2020 ; опубл. 25.08.2021, Бюл. № 49/2021.
2. Постріл для гранатомета осколково-фугасний (ПГОФ-40): пат. 117795 Україна : F42B 12/02, F42C 9/14. № а 2017 06468 ; заявл. 23.06.2017 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18.
3. Зеленко В. К., Брызжев А. В., Злобин В. В., Королёв В. М. Выстрелы для автоматических гранатомётов // Пистолетные и снайперские патроны. Гранатомётные выстрелы. Учебное пособие. – Тула: Инфра, 2008. – 120 с.
4. Васьківський М.І. Експериментальні дослідження основних показників ефективності гранат типу ВОГ-25 / М.І. Васьківський, С.П. Бісик, С.В., Журавський В.С. Курихін, С.Л. Кондрачуков, В.В. Піманов. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ / ЦНДІ ОВТ ЗС України. Вип. 3 (74). К. : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2019. С. 87–98.
5. Перспективные европейские малокалиберные боеприпасы воздушного подрыва с программируемыми взрывателями [Електронний ресурс]: По представлению акад. РАРАН В.В. Селиванова / В.Н. Зубов, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 4 (99). – URL: http://btvt.narod.ru/4/rarn_airburst.htm
6. Powder injection moulding // PIM International, Vol. 14 No. 3 September 2020. [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.pim-international.com/powder-injection-moulding-international-magazine-archive/pim-international-vol-14-no-3-september-2020/>
7. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Третьяков А. В., Зюзин В. И. 2-е изд. М., «Металлургия», 1973. – 224 с.
8. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. – 248 с.
9. Савченко Д. В. Розробка конструкції та технології виготовлення корпусу гранати гранатометного пострілу калібру 40 мм: магістерська дис.: 131 Прикладна механіка / Савченко Денис Валентинович. – Київ, 2022. – 96 с.
10. DEFORM Users Manual, 2000, Scientific Forming Technologies Corporation, Version 10.

УДК 621. 983.07

Особливості використання deform 2d для моделювання витягування з потоншенням через одну та дві матриці

Орлюк М.В.¹, Піманов В.В.¹, Савченко Д.В.², Слінько Н.О.¹, Молод О.В.¹, Дубініна Н.М.¹.

1. КПІ ім. Ігоря Сікоретського, м. Київ

2. ДП «Укроборонсервіс» м. Київ

Серійне виготовлення порожнистих тонкостінних вісесиметричних виробів зі значним співвідношенням товщин стінок та дна, до яких відносяться й гільзи стрілецьких та артилерійських набоїв, не можливе без застосування витягування з потоншенням [1-3]. Незважаючи на простоту схеми витягування з потоншенням кінцевий результат витягування залежить від великої кількості факторів [4, 5], таких як геометрія пуансона та матриці, механічних властивостей матеріалу, що деформується, геометрії вихідної заготовки, способу витягування (через одну матрицю, одночасне або послідовне витягування через дві матриці, послідовне витягування через дві в різних штампах без проміжної термічної обробки) та ін.

Розробка нових або вдосконалення існуючих таких багатофакторних технологій на сучасному етапі розвитку машинобудування не можливе без використання програмних комплексів для аналізу процесів обробки металів тиском (QForm, Deform та ін.). Однак ці програмні комплекси не універсальні і їх використання для моделювання та аналізу того чи іншого процесу деформування потребує попередньої оцінки ефективності та відповідності отриманих результатів [6, 7].

Мета роботи – оцінити можливість використання програмного комплексу Deform-2D для аналізу процесів вісесиметричного витягування з потоншенням через одну та дві матриці та встановити особливості моделювання, що підвищують ефективність його використання для оптимізації існуючих та розробки нових технологічних процесів витягування з потоншенням.

Моделювання процесу витягування з потоншенням виконано за трьома схемами - через одну матрицю, а також одночасне та послідовне витягування через дві матриці із використанням як пластичної, так і пружно-пластичної моделей матеріалу (рис. 1).

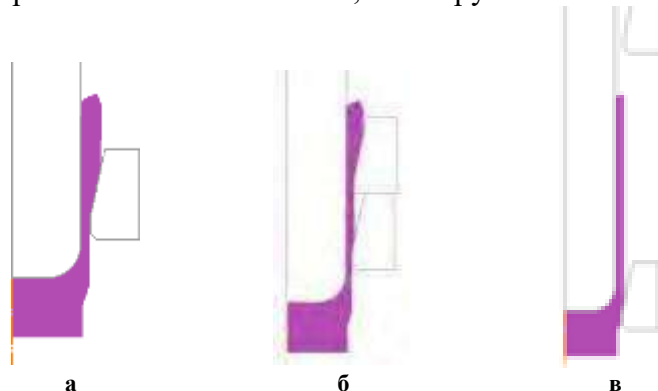


Рис. 1. Схеми витягування з потоншенням:

а – через одну матрицю; б – одночасно через дві матриці; в - послідовно через дві матриці

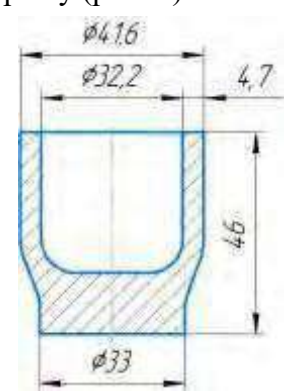


Рис. 2. Порожниста заготовка

Ескіз заготовки для подальшого витягування з потоншенням представлено на рис. 2. В якості матеріалу для моделювання використано сталь AISI-1010 (аналог сталі 10).

Для встановлення критичних значень критерію руйнування (в нашому випадку це Normalized Cockcroft-Latham) досліджувались процеси зі ступенями деформації, близькими до максимально допустимих [2-5]. Для сталі 10 при витягуванні з потоншенням через одну матрицю це 55%, через дві – 70%. Кут матриць – 12° .

Сили тертя розраховувались за законом Зібеля, який рекомендовано використовувати для врахування тертя в операціях об'ємного штампування [8], фактор тертя за Зібелем - 0,12. Швидкість переміщення пуансона – 10 мм/с.

Результати моделювання витягування з потоншенням порожнистої заготовки через одну матрицю представлені на рис. 3 та 4. Ступінь деформації при цьому становила 54,2% (товщина стінки витягнутого напівфабрикату $S1 = 2,3$ мм).

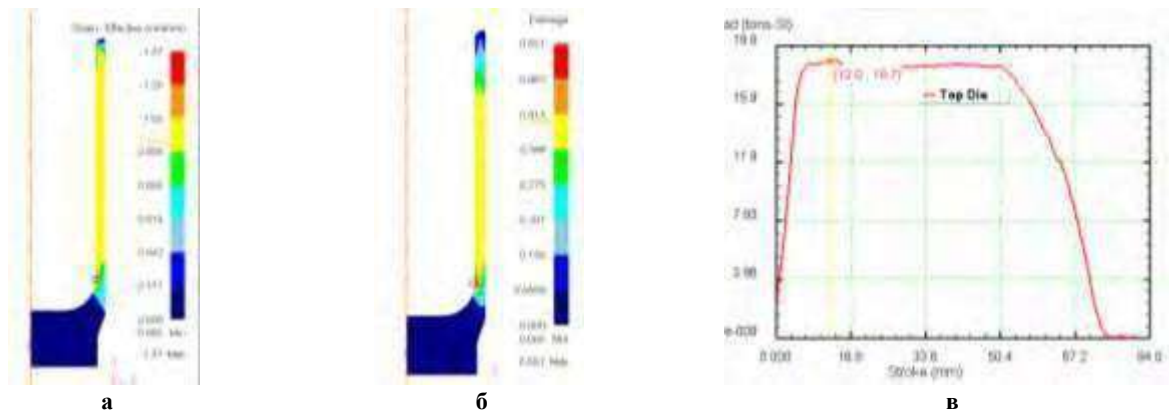


Рис. 3. Результати моделювання витягування з потоншенням через одну матрицю

з використанням пружно-пластичної моделі матеріалу: а- розподіл інтенсивності деформації; б - картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в - діаграма зусилля

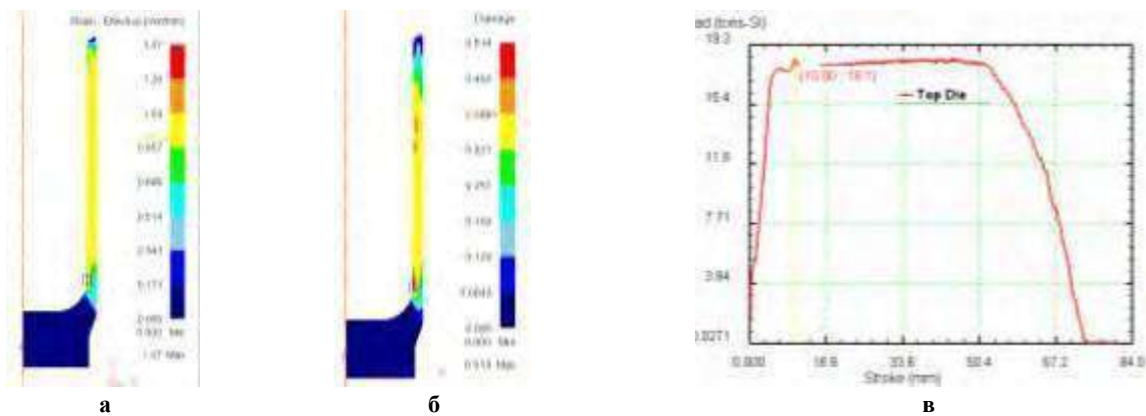


Рис. 4. Результати моделювання витягування з потоншенням через одну матрицю з використанням пластичної моделі матеріалу: а- розподіл інтенсивності деформації; б - картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в - діаграма зусилля

Як видно з рис. 3 та 4, тип моделі матеріалу (пружно-пластична та пластична) в даному випадку практично не вплинув на кінцеві результати. В обох випадках маємо практично ідентичні картини розподілу інтенсивності деформації та значень критерію руйнування. Інтенсивність деформації у стінці здеформованого напівфабрикату знаходиться в межах 0,85...1, максимум знаходиться у донній частини напівфабрикату і дорівнює 1,37. Значення критерію руйнування у стінці напівфабрикату в обох випадках не перевищує 0,4. Максимальні значення, розташовані у дна напівфабрикату становлять 0,55 для пружно-

пластичної моделі матеріалу та 0,51 для пластичної. Також маємо практично однакове максимальне технологічне зусилля витягування (187 кН для пружно-пластичної задачі та 181 кН для пластичної).

Слід зауважити, що максимальні значення критерію руйнування, отримані за результатами моделювання витягування з потоншенням через одну матрицю із ступенем деформації, близьким до максимально допустимого, співпадають з аналогічними значеннями, отриманими для витягування без потоншення [6].

Додатково був проведений чисельний експеримент по встановленню максимального ступеню деформації (теоретично можливого ступеню деформації в Deform), за якого в процесі моделювання можливе витягування напівфабрикату через одну матрицю без руйнування. Для пружно-пластичної моделі матеріалу зазначений ступінь деформації становить 62,6% при значенні критерію руйнування 0,7 (значення критерію руйнування, що передувало руйнуванню, становило 0,8). Для пластичної моделі матеріалу - 64,7% та 0,76 відповідно (значення критерію руйнування, що передувало руйнуванню, становило 0,86).

При моделюванні витягування з потоншенням порожнистої заготовки одночасно через дві матриці (рис. 16) в якості вхідних були прийняті наступні параметри процесу: товщина стінки напівфабрикату на верхній матриці $S1 = 2,3$ мм (ступінь деформації 54,2%), на нижній – $S2 = 1,6$ мм (ступінь деформації 31,8%); загальний ступінь деформації - 68,8%

Результати моделювання процесу витягування із застосуванням пружно-пластичної моделі матеріалу представлені на рис. 5

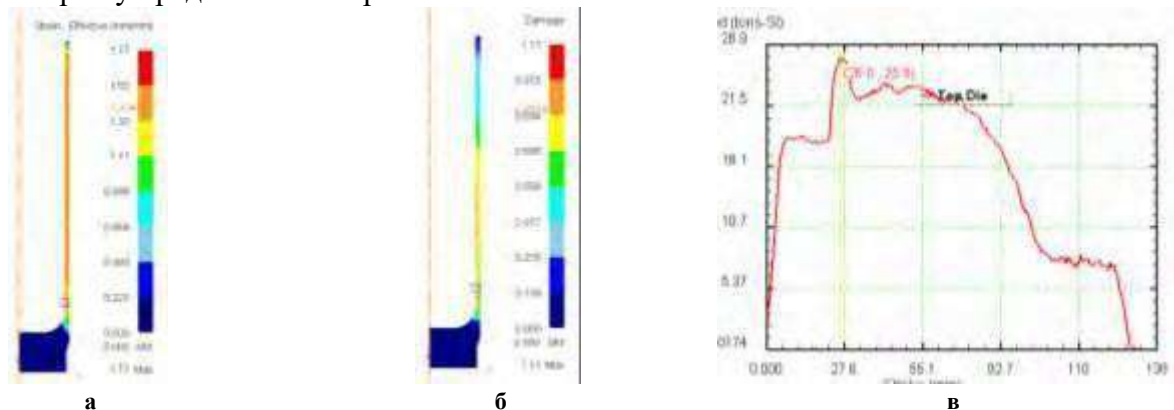


Рис. 5. Результати моделювання витягування з потоншенням одночасно через дві матриці з використанням пружно-пластичної моделі матеріалу: а- розподіл інтенсивності деформації; б - картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в - діаграма зусилля

Як видно з рис. 5 інтенсивність деформації у стінці zdeформованого напівфабрикату знаходиться у межах 1,3...1,5, значення критерію руйнування у стінці напівфабрикату – 0,8...0,9 за локального максимуму в нижній частині стінки 1,1.

З огляду на результати попереднього моделювання (витягування через одну матрицю) можна припустити, що матеріал напівфабрикату при деформуванні за даною схемою близький до руйнування навіть за результатами моделювання у середовищі Deform-2D. Відповідно у реальному процесі за даної схеми витягування при даному розподілі ступенів деформації між матрицями деформування завершиться руйнуванням заготовки.

Моделювання даного процесу при використанні пластичної моделі матеріалу підтвердило зроблене припущення, оскільки процес моделювання завершився руйнуванням стінки напівфабрикату. При збільшенні кінцевої товщини стінки напівфабрикату $S2$ до 1,7 мм (загальний ступінь деформації зменшився до 66,8%) моделювання відбулось без руйнування. Результати експерименту представлені на рис. 6.

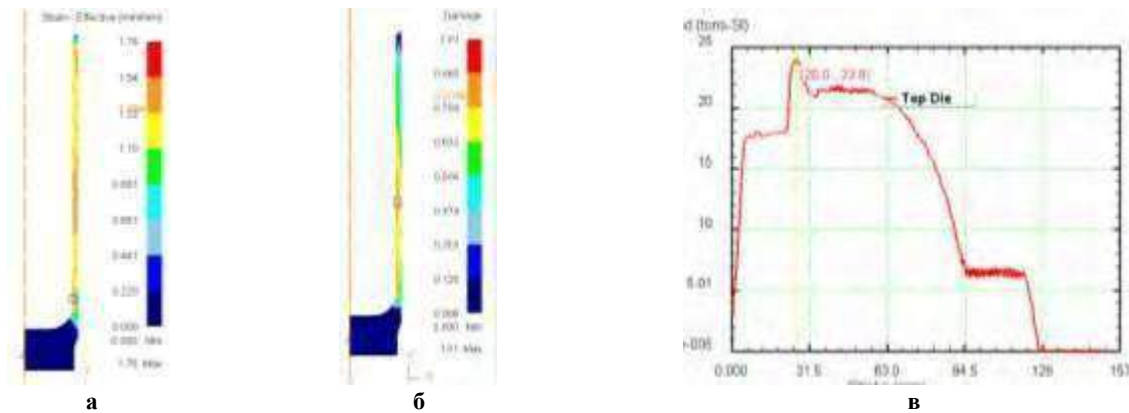


Рис. 6. Результати моделювання витягування з потоншенням одночасно через дві матриці з використанням пластичної моделі матеріалу: а - розподіл інтенсивності деформації; б - картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в - діаграма зусилля

З рис. 6 видно, що інтенсивність деформації у стінці zdeформованого напівфабрикату також знаходиться у межах 1,3...1,5, значення критерію руйнування у стінці напівфабрикату – 0,7...0,8 за локального максимуму в середній частині стінки 1,0. Такі великі значення критерію руйнування свідчать про те, що за даної схеми деформування відбувається з теоретично можливим ступенем деформації.

При моделюванні процесу витягування з потоншенням порожнистої заготовки послідовно через дві матриці (рис. 1в) в якості вхідних були прийняті такі ж параметри процесу, як і у попередньому експерименті: товщина стінки напівфабрикату на верхній матриці $S_1 = 2,3$ мм (ступінь деформації 54,2%), на нижній – $S_2 = 1,6$ мм (ступінь деформації 31,8%); загальний ступінь деформації - 68,8%

Результати моделювання процесу витягування із застосуванням пружно-пластичної моделі матеріалу представлені на рис. 7

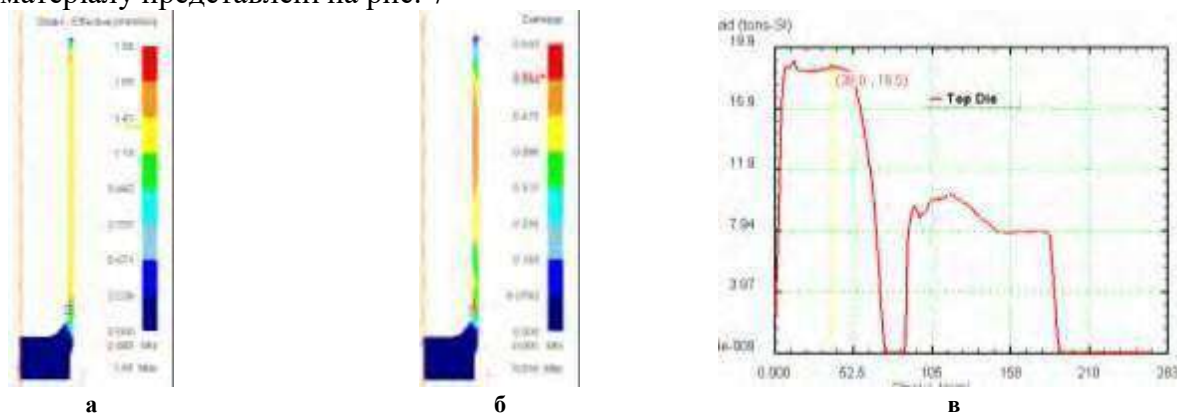


Рис. 7. Результати моделювання витягування з потоншенням послідовно через дві матриці з використанням пружно-пластичної моделі матеріалу: а - розподіл інтенсивності деформації; б - картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в - діаграма зусилля

Результати моделювання процесу витягування із застосуванням пластичної моделі матеріалу представлені на рис. 8

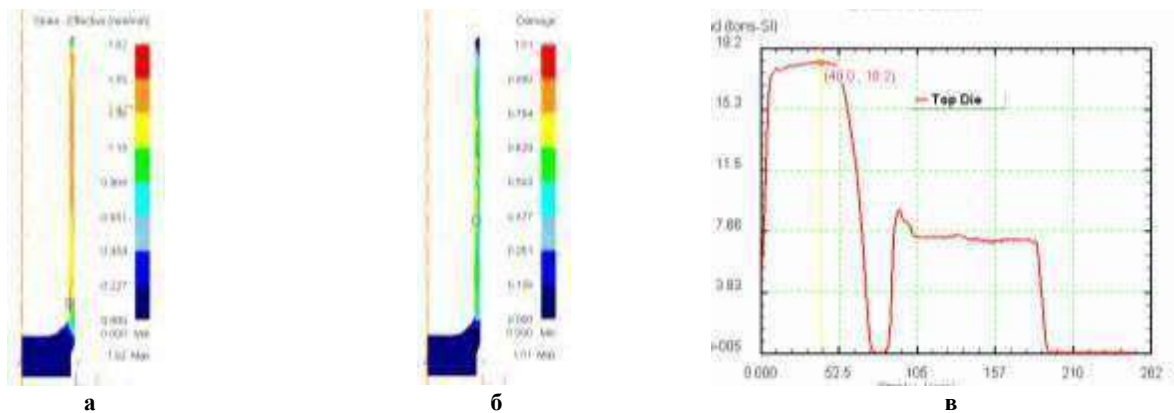


Рис. 8. Результати моделювання витягування з потоншенням послідовно через дві матриці з використанням пластичної моделі матеріалу: а - розподіл інтенсивності деформації; б - картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в - діаграма зусилля

Порівнюючи отримані результати слід зазначити, що значення критерію руйнування, отримані при використанні пружно-пластичної та пластичної моделей матеріалу суттєво відрізняються, хоча значення інтенсивності деформації та технологічного зусилля практично співпадають.

Аналіз отриманих результатів показав, що така значна різниця значень критерію руйнування пов'язана з тим, що при використанні пружно-пластичної моделі матеріалу в процесі моделювання відбувалась перебудова сітки скінченних елементів, а при використанні пластичної моделі відбулось значне спотворення вихідної сітки без її перебудови.

При додатковому моделюванні процесу витягування із примусовою перебудовою сітки для пластичної моделі матеріалу була отримана картина розподілу значень критерію руйнування, ідентична пружно-пластичній задачі.

Значення критерію руйнування у стінці напівфабрикату знаходяться в межах 0,55...0,57, локальний максимум – 0,63...0,64.

Отримані значення критерію руйнування свідчать, що за даної схеми деформування теоретично можливий ступінь деформації не був досягнутий. Під час додаткових експериментів теоретично можливий ступінь деформації склав 78,9% (товщина стінки на нижній матриці $S_2 = 1,1$ мм). Значення критерію руйнування знаходилося у межах 0,85...0,95.

Висновки

В роботі проведено порівняльний аналіз комп'ютерного моделювання процесів витягування з потоншенням порожнистої заготовки через одну та дві матриці та експериментальних даних. Встановлено, що принципової різниці у результатах моделювання процесу витягування з потоншенням, отриманих при використанні пружно-пластичної та пластичної моделей матеріалу не має, а моделювання процесів витягування зі ступенями деформації, що перевищують 50%, бажано виконувати з контрольованою перебудовою сітки скінченних елементів.

Підтверджено, що в Deform при моделюванні формозмінних процесів можливе деформування матеріалу заготовки без руйнування зі ступенями деформації, що значно перевищують максимально допустимі деформації, встановлені експериментально. Тому для прогнозування ймовірності руйнування в реальних процесах необхідно використовувати граничні значення критерію руйнування. За результатами проведених у роботі досліджень пропонується якості граничних, за яких деформування відбувається без руйнування,

використовувати значення критерію Normalized Cockcroft-Latham 0,54...0,55 в. Значення критерію 0,75...0,8 можна вважати критичними, тобто такими, за яких в реальних процесах витягування з потоншенням гарантовано відбудеться руйнування заготовки.

Список літератури

1. Малов А.Н. Производство патронов стрелкового оружия. М. Оборонгиз, 1947, 416 с.
2. Сафарянц А.Р. Технология патронно-гильзового производства. Учебное пособие для техникумов. - ЦНИИ информации, 1975 г. 208 с.
3. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т.1 / Под ред. Н.П. Агеева; Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2011. - 643 с.
4. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1985-1987. - Т. 4: Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева. - 544 с.: ил.
5. Вытяжка с утонением стенки / И.П. Ренне, В.Н. Рогожин, В.П. Кузнецов, В.Д. Тутішкин. Тула: ТПИ, 1970. - 141 с.
6. Орлюк М.В. Граничні значення критеріїв руйнування при моделюванні процесів витягування в середовищі DEFORM // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. - Краматорск: ДГМА, 2017. - № 2(45). - С. 22-29. - Режим доступа: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27990>, [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2\(45\)_2017/article/6.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2(45)_2017/article/6.pdf)
7. Орлюк М.В., Піманов В.В., Савченко А.В. Чисельне моделювання холодного ротаційного витягування з використанням пластичної і пружно-пластичної моделі матеріалу. // Матеріали Х Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском і якості фахової освіти». - Київ - Херсон - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 р. - С. 89 - 93. <http://mpm-rp.kpi.ua/wp-content/uploads/2019/03/Materiali-konferentsiyi-2019.pdf>
8. Лаптев А.М., Ткаченко Я.Ю., Жабин В.И. Построение диаграммы для определения коэффициента трения в формуле Леванова по методу осадки кольца. // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. - Краматорск: ДГМА, 2011. - № 3(28). - С. 129-132.

УДК.621.774.8

Ефективність застосування активних сил тертя при прямому та зворотньому видавлюванні

Сабол С.Ф. к.т.н., Бородій Ю.П, к.т.н., Назарук Т.О., магістр.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

Анотація: Метою роботи є підвищення ефективності виготовлення порожнистих виробів в штампах на основі застосування технологічних схем видавлювання з активними силами тертя, що забезпечують зменшення питомого зусилля на деформуючому інструменті та підвищують його стійкість. В роботі проведено моделювання процесів прямого і зворотного видавлювання порожнистих заготовок в штампах з активними силами тертя в програмному середовищі Deform 2D. Отримано залежності зусилля від переміщення робочого інструменту. Розглянуто три випадки з різними швидкостями переміщення деформуючого інструменту. Проведено порівняльний аналіз величини зменшення зусиль процесу в залежності від значення розтягувальних напружень викликаних дією активних сил тертя..

Ключові слова: холодне об'ємне штампування; пряме та зворотнє видавлювання; різнойменна схема напруженого стану ; видавлювання порожнини;

На рис 1 показано схеми зворотного та прямого видавлювання. Права частина якої ілюструє положення штампу до початку процесу деформування (в початковому положенні), а ліва частина показує положення штампу після здійснення деформування заготовки. Пуансон 1 деформує заготовку 3, яка спирається на опору 4, та встановлена між матрицею 2. Матриця має змогу переміщуватися у вертикальному напрямі в сторону течії матеріалу, що деформується.

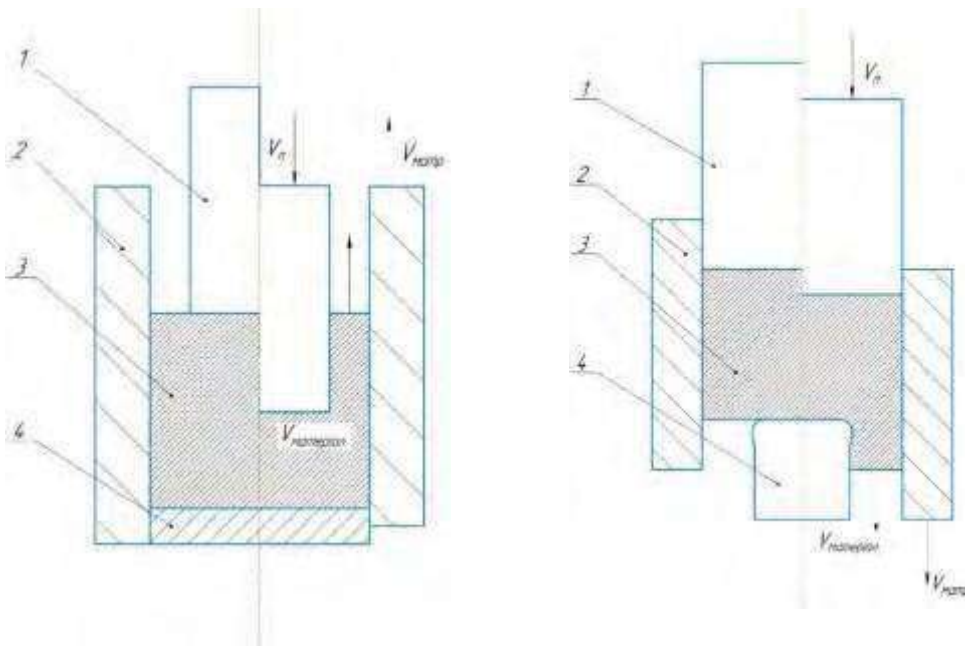


Рис. 1 Схема процесу зворотного та прямого і видавлювання порожнини з активною дією сил тертя.

При чому, в випадку коли швидкість переміщення матриці більша, ніж швидкість переміщення металу що деформується, виникають активні сили тертя, які змінюють механічну схему напружено-деформованого стану процесу. Коли вказані швидкості однакові - тертя на контактній поверхні матриця- заготовка відсутнє. В випадку нерухомої матриці маємо традиційне видавлювання.

Розрахунок і моделювання процесів було здійснено методом скінченних елементів у програмному середовищі комплексу Deform 2D

Для порівняльного дослідження було обрано і проведено три типи моделювання, коли:

1. Матриця не рухома
2. Швидкість руху матриці дорівнює швидкості течії металу заготовки.
3. Швидкість матриці у 2 рази більша, ніж швидкість деформованого металу.

Сталь 20, $\sigma_{0,2}=320$ (МПа). Швидкість деформуючого інструмента постійна і дорівнює 0.5мм/с, коефіцієнт тертя 0,12

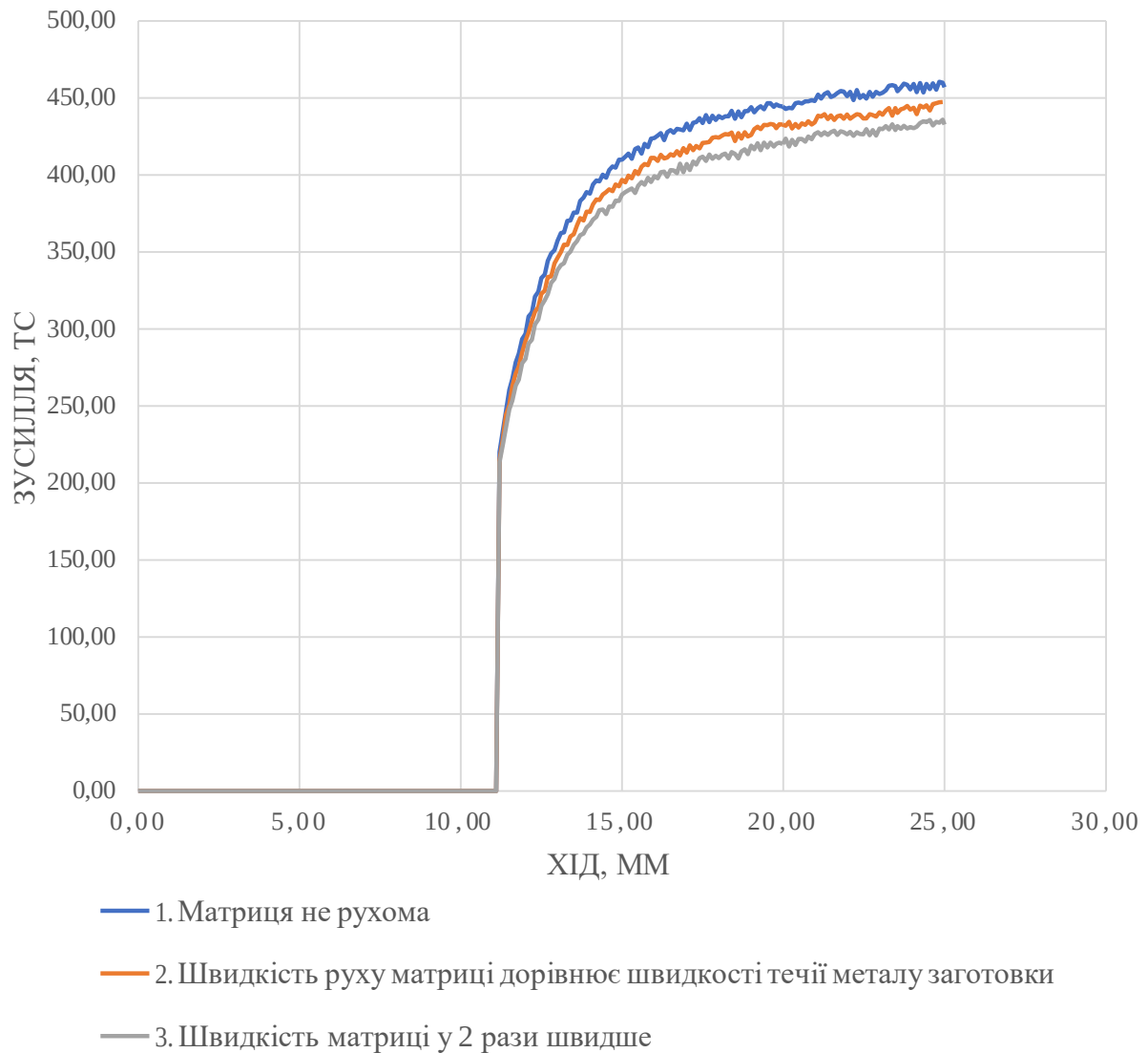


Рис.2 Графік залежності зусилля від ходу при зворотному видавлюванні.

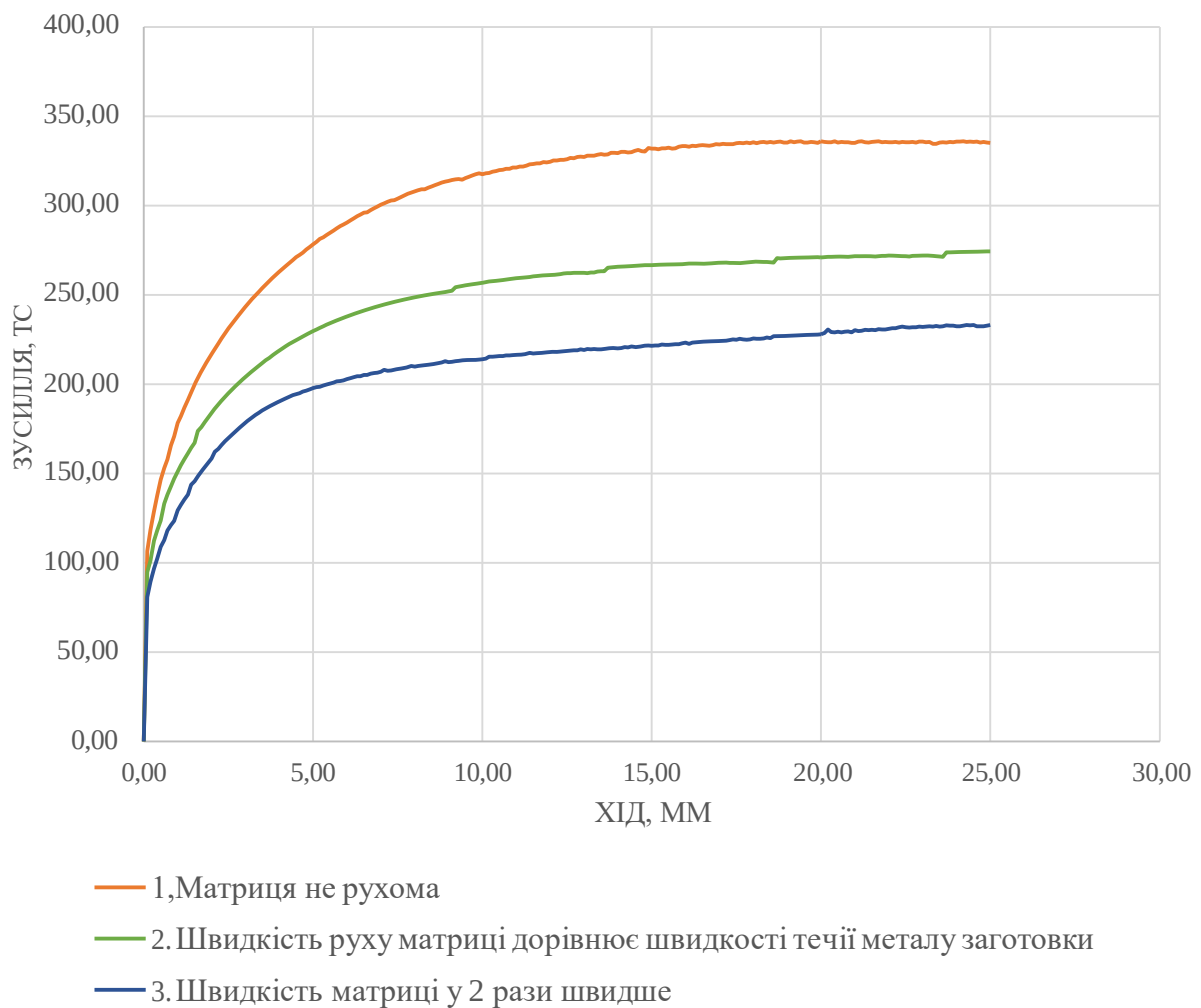


Рис.3 Графік залежності зусилля від ходу при прямому видавлюванні.

На рис.2 та рис. 3 приведено графіки залежності зусилля від переміщення пуансону для зворотного та прямого видавлювання для трьох випадків: нерухома матриця, швидкість переміщення матриці та деформованого металу однакові. швидкість переміщення матриці в два рази більша від швидкості переміщення металу заготовки.

Отримані результати дослідження показали, що зусилля деформування на робочому інструменті – пуансоні, зменшується під впливом дії активних сил тертя, які викликані збільшенням швидкості руху переміщення матриці в порівнянні зі швидкістю стінки виробу, що видавлюється. При чому, при прямому видавлюванні ефективність використання активних сил тертя значно вища, ніж при зворотному. Так при зворотному видавлюванні максимальне зменшення становить 6,43%, в той час як при прямому сягає 30,4%.

Список літератури

1. Ковка и объемная штамповка: Справочник. В 4-хт. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др.. – Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. - М.: Машиностроение, 1987. - 384с.
2. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. "Машины и технология обработки металлов давлением". — Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. — 248 с.
3. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1977. — 423 с.