

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Горноста́й Вади́м Микола́йович

УДК 621.777.4

**ХОЛОДНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ З РОЗДАЧЕЮ ПРОФІЛІВ ІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МЕТАЛІВ**

Спеціальність 05.03.05 - Процеси та машини обробки тиском

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

КИЇВ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Київ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент

Калюжний Володимир Леонідович, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», професор кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент

Головко Олександр Миколайович, Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, професор кафедри обробки металів тиском;

кандидат технічних наук, доцент

Кузьменко Віктор Іванович, Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, професор кафедри обробки металів тиском.

Захист відбудеться “___” _____ 2011 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.01 у Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут", за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги 37, корп. 1, ауд. N166.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, за адресою: 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “___” _____ 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

Боронко О.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасне машинобудування, приладобудування та інші галузі промисловості потребують використання профілів різноманітної конфігурації із конструкційних металів, які мають підвищену надійність та довговічність при експлуатації. Профілі, які поставляються згідно існуючим стандартам металургійною промисловістю, не завжди відповідають вимогам по точності і механічним властивостям. Одним із методів отримання високоточних профілів необхідної форми із забезпеченими механічними властивостями здеформованого металу є пряме холодне видавлювання. Широке розповсюдження вказаного процесу стримується по причині високих питомих зусиль деформування, особливо при холодному формоутворенні профілів із важкодеформівних сталей і сплавів, що приводить до низької стійкості деформуючого інструменту.

Холодне видавлювання з роздачею, сутність якого полягає в можливості одночасної течії металу в матриці в осьовому та поперечному напрямках, дозволяє зменшити силові режими деформування, питоме навантаження на інструменті та забезпечити інтенсивну зміну структури металу в процесі пластичного деформування. Це дозволяє підвищити стійкість деформуючого інструменту, в результаті знижується собівартість профілів і енергоємність виробництва, підвищується надійність і довговічність профілів.

Співробітниками кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ "КПІ" розроблено спосіб прямого видавлювання з роздачею профілів різної конфігурації з круглих заготовок, діаметр яких менший за максимальний розмір перерізу профілю. Для вказаного способу відсутні аналітичні залежності для визначення зусиль і питомих зусиль деформування, розрахункові методики, що дозволяють на стадії проектування технології прогнозувати та забезпечувати якість виробів, яка полягає в визначенні кінцевої геометричної форми, зміцнення та ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу. Також відсутні технологічні рекомендації для реалізації прямого видавлювання з роздачею на практиці та рекомендації по проектуванню штампового оснащення. Це обумовлено складнощами визначення граничного формоутворення, точного розподілу питомих зусиль на деформуючому інструменті при об'ємному напружено-деформованому стані. Рішення даних задач пов'язане з проведенням теоретичних і експериментальних досліджень.

В дисертації вирішена актуальна науково-практична задача розробки та впровадження технологічних процесів прямого видавлювання з роздачею для забезпечення високих механічних властивостей профілів та стійкості оснащення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромислому комплексі». Дисертація виконана в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації № 0106U002485, 0109U000629) і ряду госпдоговірних тем, виконавцем яких був автор.

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування процесу холодного прямого видавлювання з роздачею профілів із конструкційних металів та

впровадження технологічних процесів, що забезпечують зниження силових режимів деформування та енергоємності процесу, підвищення стійкості деформуючого інструменту та забезпечення якості виробів.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі задачі:

1. Провести аналіз існуючих способів холодного видавлювання профілів, теоретичних та експериментальних досліджень формоутворення профілів, встановити їх основні переваги та недоліки;

2. Виконати теоретичний аналіз холодного прямого видавлювання з роздачею інженерним методом, отримати аналітичні залежності для визначення питомих зусиль і силових режимів деформування з урахуванням основних факторів, що впливають на формоутворення профілів;

3. Провести чисельні експерименти методом скінченних елементів (МСЕ) процесів традиційного видавлювання профілів і видавлювання з роздачею, встановити причини та величини зниження силових режимів деформування при видавлюванні з роздачею, виявити вплив основних конструктивних та технологічних факторів на напружено-деформований стан заготовки, зусилля деформування, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, кінцеву геометрію профілів, зміцнення здеформованого металу та ступінь використання ресурсу пластичності;

4. Провести експериментальні дослідження холодного прямого видавлювання з роздачею для перевірки адекватності математичних моделей;

5. Виконати відпрацювання процесу та розробити рекомендації з проектування технологічних процесів і штампового оснащення для холодного прямого видавлювання з роздачею профілів, впровадити в виробництво результати досліджень.

Об'єкт дослідження. Процес холодного прямого видавлювання з роздачею профілів.

Предмет дослідження. Силові режими формоутворення профілів, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, закономірності формозміни заготовки в процесах холодного прямого видавлювання з роздачею.

Методи дослідження. Теоретичний аналіз холодного прямого видавлювання з роздачею виконувався за допомогою інженерного методу та методу скінченних елементів у програмі DEFORM-3D. Експериментальні дослідження виконувались в лабораторних і виробничих умовах із застосуванням розробленого спеціального оснащення, випробувального та стандартного пресового обладнання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше інженерним методом отримані аналітичні залежності для визначення контактних напружень та зусиль деформування в процесах холодного прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів.

2. Отримали подальший розвиток скінченно-елементні моделі традиційного прямого видавлювання та видавлювання з роздачею прямокутних профілів з круглих заготовок, що дозволило встановити закономірності формозміни металу та причини зменшення зусиль деформування при видавлюванні з роздачею.

3. Для процесу холодного видавлювання з роздачею профілів вперше методом скінченних елементів встановлено характер розвитку напружено-деформованого

стану в заготовці та раціональні розміри матриці, які забезпечують мінімальні зусилля видавлювання і необхідну кінцеву геометрію виробу.

4. Теоретичним аналізом вперше встановлено вплив розмірів вихідної заготовки та коефіцієнта тертя на кінцеву геометрію профілів при прямому видавлюванні з роздачею.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновані аналітичні залежності для розрахунків силових режимів на стадії проектування технології прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів.

2. Розроблена методика проектування технологічних процесів холодного прямого видавлювання з роздачею, яка дозволяє знизити витрати на технологічну підготовку виробництва.

3. На основі математичних моделей за допомогою методу скінченних елементів визначено раціональні параметри деформуючого інструмента для отримання холодним прямим видавлюванням з роздачею профілів необхідної форми і профілів з забезпеченою якістю.

4. Розроблені і впроваджені технологічні процеси і штампове оснащення для виготовлення сталевих профілів холодним прямим видавлюванням з роздачею на АО "ГК МГ", м. Київ (акт впровадження від 1.06.2003 р.) та ТОВ «Аврора», м. Харків (акт впровадження від 01.02.2010 р.).

5. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі в практичних і лабораторних роботах студентів і магістрантів спеціальності „Обладнання для обробки металів тиском” на кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів Національного технічного університету України «КПІ» в курсах «Технологія холодного об’ємного штампування» та «Чисельні методи аналізу процесів ОМТ» (довідка від 17.09.2010 р.).

Особистий внесок здобувача.

Автором виконане наступне: обґрунтована мета роботи, постановка та проведені розв’язки основних задач дослідження; розроблені математичні моделі на базі інженерного методу та методу скінченних елементів; отримані аналітичні залежності для інженерних розрахунків силових режимів деформування; встановлені закономірності формозміни заготовки при отриманні прямокутних профілів; проведені експериментальні дослідження; сформульовані рекомендації з проектування технологічних процесів холодного прямого видавлювання з роздачею; розроблено і впроваджено технологічні процеси та штампове оснащення для холодного прямого видавлювання з роздачею профілів із сталей.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації обговорювались на: Міжнародних науково-технічних конференціях «Новые наукоемкие технологии, оборудование и оснастка для обработки материалов давлением», Краматорськ, 2001-2004рр., 2007-2010рр., Міжнародних конференціях «Прогрессивная техника и технология», Севастополь, 2002-2005рр., 2007-2010 рр., Міжнародній науково-технічній конференції «Пластична деформація металів», Дніпропетровськ, 2002, II Міжнародній науково-практичній конференції, Луцьк, 2009, Загальноуніверситетських науково-технічних конференціях молодих вчених та студентів, присвячених дню Науки, Київ, 2008-2010рр., Міжнародній науково-технічній

конференції „Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском”, Київ, 2010р.

Публікації: Матеріали дисертації опубліковані в 11 статтях у фахових виданнях, що включені до переліку ВАК України та відображені у 2 патентах України.

Структура та обсяг дисертації: Робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи 213 сторінок, у тому на 137 сторінок основного тексту, містить таблиць - 5, рисунків - 52, список літературних джерел із 117 найменувань, додатків – 3 на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведений аналіз сучасного стану досліджень і виробничого досвіду в області виробництва профілів із сталей холодним об’ємним штампуванням. Проаналізовані способи та штампове оснащення для отримання профілів холодним видавлюванням. Наведений аналіз існуючих експериментальних та теоретичних досліджень видавлювання профілів різноманітної конфігурації. Представлені результати математичного моделювання, де основна увага зосереджена визначенню зусиль і питомих зусиль деформування та мало даних по якості профілів. Встановлено, що основним недоліком при виготовленні профілів методами холодного видавлювання є наявність високих питомих зусиль на деформуючому інструменті, що знижують його стійкість та обмежують можливість виготовлення профілів з важкодеформівних сталей. Використання холодного прямого видавлювання з роздачею дозволяє зменшити питомі зусилля та відкриваються можливості отримувати профілі з важкодеформівних сталей. Однак для вказаного процесу відсутні аналітичні залежності для визначення силових режимів деформування, не має даних по впливу геометричної форми матриці на формозміну заготовки, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті та якість профілів. На підставі аналітичного огляду літературних джерел поставлена мета та сформульовані задачі дослідження.

Другий розділ містить загальні методики проведення теоретичних і експериментальних досліджень. Для визначення питомих зусиль і силових режимів в процесах холодного прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів запропоновано отримати аналітичні залежності створенням математичних моделей інженерним методом, який заснований на спільному вирішенні диференційних рівнянь рівноваги з наближеною умовою пластичності для заготовки складної конфігурації, що розподіляється на ряд об’ємів.

Обґрунтовано створення скінченно-елементних моделей з використанням програми DEFORM-3D для визначення закономірностей формоутворення прямокутних профілів з циліндричної заготовки процесами холодного прямого видавлювання з роздачею. Об’ємний напружено-деформований стан заготовки визначається в пластичній постановці з урахування комплексного впливу

конструктивних і технологічних факторів на формозміну металу. Ступінь використання ресурсу пластичності zdeформованого металу сталевих заготовок визначали по критерію В.А. Огороднікова. Використання вказаної програми дає можливість порівняти результати чисельних експериментів з натурними експериментами по видавлюванню з роздачею прямокутних профілів зі сталі та свинцю.

Експериментальні дослідження базуються на моделюванні процесів видавлювання з роздачею прямокутних профілів із свинцевих та сталевих заготовок. Залежність зусилля від переміщення визначалась при експериментах на машині «TIRA test 2300».

У третьому розділі представлено результати теоретичного дослідження холодного видавлювання з роздачею прямокутних профілів інженерним методом та розрахункові дані, які отримані МСЕ. На рис. 1 наведений розріз матриць для отримання прямокутних профілів за традиційною схемою прямого видавлювання (а) та видавлювання з роздачею (б).

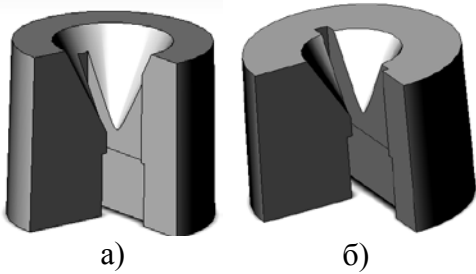


Рис. 1. Матриці для отримання прямокутних профілів: а) для традиційного видавлювання, б) для видавлювання з роздачею

Діаметр вихідної заготовки для традиційного видавлювання більший ніж максимальний розмір профілю, а при видавлюванні з роздачею він менший. При видавлюванні з роздачею метал, який деформується по конічній поверхні матриці одночасно вільно витікає в поперечному напрямку і заповнює прямокутний профіль.

Розрахункова схема для розв'язку задачі інженерним методом наведена на рис. 2 (1 - пуансон, 2 - заготовка, 3 - матриця). На першій проекції показаний переріз по вісі y . На вигляді зверху праворуч від вісі x наведений переріз, який перпендикулярний вісі z на початку переходу циліндричної поверхні матриці в конічну. Ліворуч від вісі x показаний довільний переріз конічної поверхні матриці радіусом r . Розглядаємо четверту частину заготовки та виділяємо три об'єми (I-III). В першому об'ємі, який знаходиться в отворі шириною $h/2$ і обмежений радіусом r і розміром $b_0/2$, формозміна металу відсутня. Об'єм I зміщується в напрямку вісі x як жорстке ціле. Звідки напруження σ_{y1} в металі біля стінки отвору матриці не може бути більшим напруження текучості σ_{s1} . Візьмемо максимально можливе абсолютне значення напруження: $|\sigma_{y1}| = \sigma_{s1}$. Опір переміщенню металу буде створювати контактне тертя на стінці прямокутного отвору матриці, що має вигляд трапеції з основами $b_0/2$ і $(b_0/2) - R_3$ та висотою H . Від дії тертя виникає рівнодіюча сила (див. рис. 2, права проекція): $P_1 = \mu_1 \cdot |\sigma_{y1}| \cdot \left(\frac{b_0}{2} - \frac{R_3}{2} \right) \cdot H$. Тоді можна знайти необхідне середнє по висоті матриці H питоме зусилля p_1 в перерізі профілю в отворі матриці висотою $h/2$ і шириною $b_0/2 - R_3/2$: $p_1 = \frac{\mu_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot 2 \cdot H}{h}$. Тут μ_1 коефіцієнт тертя на вказаній стінці.

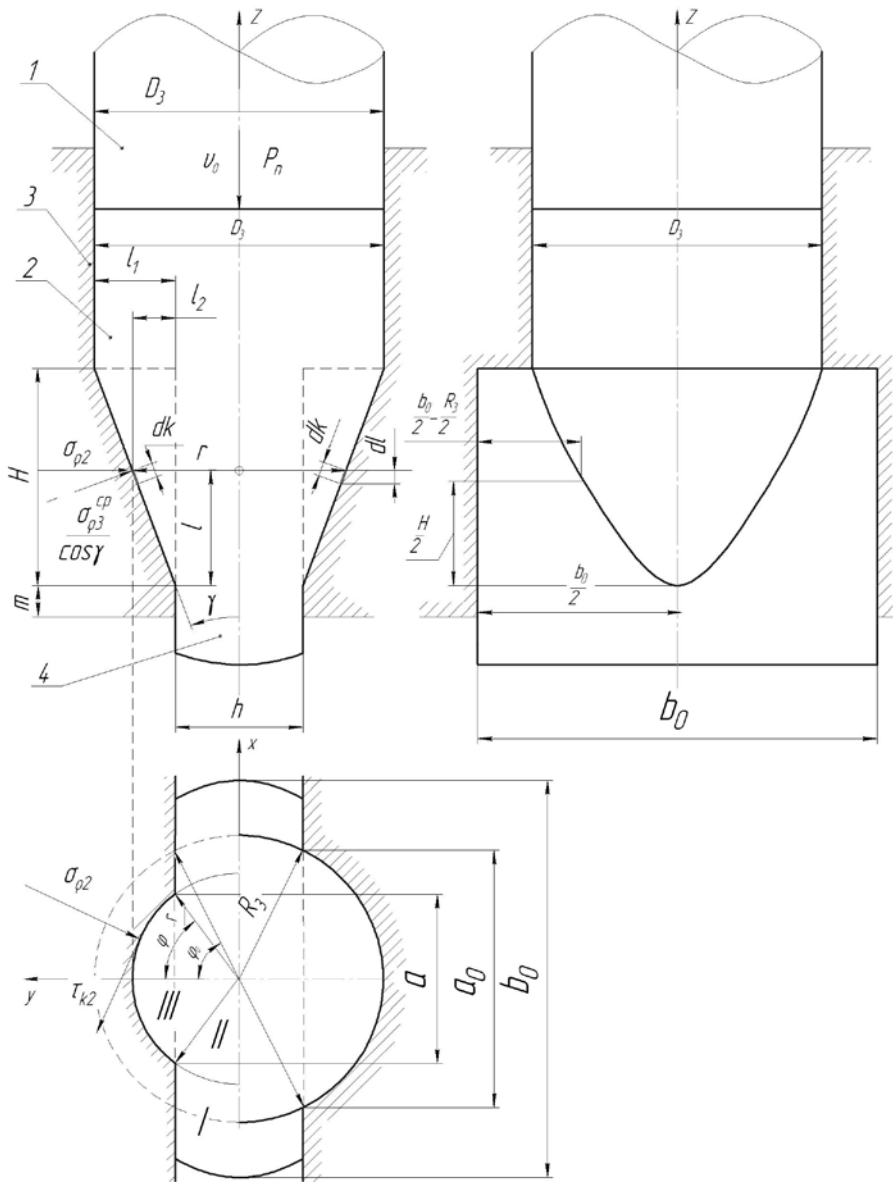


Рис. 2. Розрахункова схема видавлювання з роздачею для вирішення інженерним методом

Об'єм II представляє собою сектор радіусом r і кутом $\frac{\pi}{2} - \varphi$. Для визначення напруженого стану використовуємо полярні координати. Оскільки необхідно визначити потрібне для деформації питоме зусилля, а не розподіл напружень в осередку деформації, то будемо визначати напруження на конічній поверхні матриці при $\rho = r$. На цій поверхні координата ρ постійна, то σ_θ не залежить від ρ . На поверхні між II і I об'ємами виникає зсув і діє дотичне напруження $\tau_3 = -\frac{\sigma_{s2}}{\sqrt{3}}$. Розподіл $\tau_{\theta\rho 2}$ приймаємо по вісі ρ лінійним. Записуємо після вирішення рівняння рівноваги в полярних координатах з умовою пластичності $\sigma_{\rho 2} - \sigma_{\theta 2} = \sigma_{s2}$ та урахуванням граничної

умови при $\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ напруження $\sigma_{\rho 2}$ дорівнює питомому зусиллю $-p_1$ при $x = 0,5 \cdot a$ знаходимо напруження:

$$\sigma_{\rho 2} = -\frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \theta \right) - p_1 \quad \text{і} \quad \sigma_{\theta 2} = -\frac{3 \cdot \sigma_{s2}}{\sqrt{3}} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi - \theta \right) - p_1 - \sigma_{s2}$$

Об'єм III – сектор радіусом r і кутом φ . Умова пластичності для 3 об'єму має вигляд: $\sigma_{\rho 3} - \sigma_{\theta 3} = -\sigma_{s3}$.

На поверхні матриці радіусом r діє дотичне напруження $\tau_{r\theta 3} = -\tau_k = -\mu_2 \cdot \sigma_{\rho 3}$ (μ_2 - коефіцієнт тертя на конічній поверхні матриці). Вказане напруження також залежить лінійно від координати ρ . Розв'язок рівняння рівноваги з умовою пластичності, з урахуванням граничної умови на поверхні між II і III об'ємами при

$\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ напруження $\sigma_{\theta 3} = \sigma_{\theta 2}$ дає формули для визначення напружень $\sigma_{\theta 3}$ і $\sigma_{\rho 3}$:

$$\sigma_{\theta 3} = (-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3}) \cdot e^{\frac{3\mu_2}{\sqrt{3}}(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2})} \quad \text{і} \quad \sigma_{\rho 3} = (-p_1 - \sigma_{s2} - \sigma_{s3}) \cdot e^{\frac{3\mu_2}{\sqrt{3}}(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2})} - \sigma_{s3}$$

Для спрощення розв'язку знаходимо середнє значення $\sigma_{\rho 3}^{cp}$ на дузі контактуючої

поверхні матриці радіусом r і після заміни $e^{\frac{3\mu_2}{\sqrt{3}}(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2})} \approx \frac{3 \cdot \mu_2}{\sqrt{3}} \left(\theta - \varphi + \frac{\pi}{2} \right) + 1$ знаходимо:

$$\sigma_{\rho 3}^{cp} = \left(-\frac{\mu_1 \cdot \sigma_{s1} \cdot 2 \cdot H}{h} - \sigma_{s2} - \sigma_{s3} \right) [\mu_2 (2,7 - 0,87 \cdot \varphi) + 1] - \sigma_{s3}$$

Елементарне зусилля видавлювання : dP_{II} і елементарна площа dF мають вигляд:

$$dP_{II} = 2 \cdot \frac{|\sigma_{\rho 3}^{cp}|}{\cos \gamma} \cdot dF; \quad dF = \frac{R^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}{\sin \gamma} \cdot \varphi \cdot \frac{tq \varphi \cdot d\varphi}{\cos^2 \varphi}.$$

Після інтегрування виразу dP_{II} , проведення перетворень отримуємо формулу для знаходження зусилля прямого видавлювання з роздачею з урахуванням, що напруження текучості у всіх об'ємах однаково і дорівнює σ_s :

$$P_{II} = \frac{\sigma_s \cdot 4 \cdot R_3^2 \cdot \cos^2 \varphi_0}{\sin 2\gamma} \left\{ \left[\left(-\frac{\mu_1 \cdot 2 \cdot H}{h} - 2 \right) [(\mu_2 \cdot 2,7 + 1)(0,5 \cdot \varphi_0 \cdot tq^2 \varphi_0 + 0,5 \cdot \varphi_0 - 0,5 \cdot tq \varphi_0)] - \mu_2 \cdot 0,87 \cdot (0,5 \cdot \varphi_0 \cdot tq^2 \varphi_0 + 0,5 \cdot \varphi_0^2 - \varphi_0 \cdot tq \varphi_0 - \ln \cos \varphi_0) \right] - (0,5 \cdot \varphi_0 \cdot tq^2 \varphi_0 + 0,5 \cdot \varphi_0 - 0,5 \cdot tq \varphi_0) \right\}$$

Для врахування зміцнення використаємо відому апроксимацію діаграми істинних

напружень у вигляді: $\sigma_s = \frac{\sigma_e}{1 - \psi_{uu}} \left(\frac{\psi}{\psi_{uu}} \right)^{1 - \psi_{uu}}$

Тут σ_e - межа міцності; ψ_{uu} - відносне зменшення площі поперечного перерізу зразка в момент утворення шийки; ψ - відносне зменшення площі поперечного перерізу зразка. Знайдемо середнє значення σ_s^{cp} в осередку деформації. Замість ψ визначимо його середнє значення ψ_{cp} . Для цього за вихідну площу F_0 до деформації заготовки беремо площі двох кругових сегментів радіусами R_3 і кутами $2\varphi_0$ (див. рис. 1, проекція зверху). За середню площу F_{cp} беремо площу двох кругових сегментів радіусами r_{cp} (при висоті матриці $H/2$) і кутами $2\varphi_1$. Знаходимо площі F_0 і F_{cp} та визначаємо $\psi_{cp} = \frac{F_{cp}}{F_0}$. В результаті отримуємо:

$$\sigma_s^{cp} = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_{uu}} \left[\frac{(2 \cdot R_3 + h)^2 \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \sin 2\varphi_1)}{16 \cdot \psi_{uu} \cdot R_3^2 \cdot (2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)} \right]^{\frac{\psi_{uu}}{1 - \psi_{uu}}}$$

В виразах для P_{II} і σ_s^{cp} параметри $a_0 = \sqrt{4 \cdot R_3^2 - h^2}$, $\varphi_0 = \arccos \frac{h}{2 \cdot R_3}$ і $\varphi_1 = \arccos \frac{2h}{2R_3 + h}$

Порівняння результатів чисельних експериментів традиційного видавлювання та з роздачею виконували для прямокутних профілів із сталі 40 розміром 54 на 22 міліметри (мм) через матрицю з кутом конусу 20 градусів. В першому випадку для отримання профілю вказаного розміру необхідна заготовка діаметром 60мм, в

другому 42мм. На рис. 3 наведені zdeформовані заготовки: традиційним видавлюванням (а), видавлюванням з роздачею (б). Геометрична форма zdeформованих заготовок практично не відрізняється.

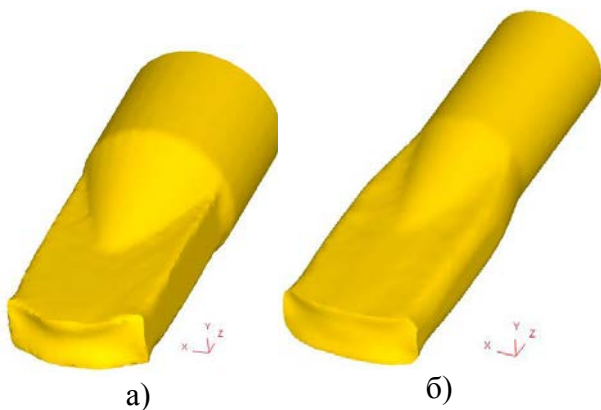


Рис. 3. Здеформовані заготовки:
а) традиційне видавлювання,
б) видавлювання з роздачею

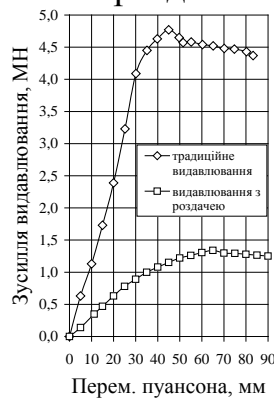


Рис. 4. Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансона

На рис. 4 представлені залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона. Максимальне зусилля традиційного видавлювання 4650 кН, видавлювання з роздачею 1340 кН. Середні питомі зусилля на пуансоні відповідно мають значення 1640 МПа і 968 МПа. Зусилля видавлювання з

роздачею менші в 3,4 рази, а питомі зусилля в 1,7 разів. Встановлено напружено - деформований стан по всьому об'єму zdeформованої заготовки. На рис. 5 показаний розподіл напружень σ_y на конічній поверхні матриці. Питомі зусилля на матриці при видавлюванні з роздачею зменшуються в 1,5-1,6 разів.

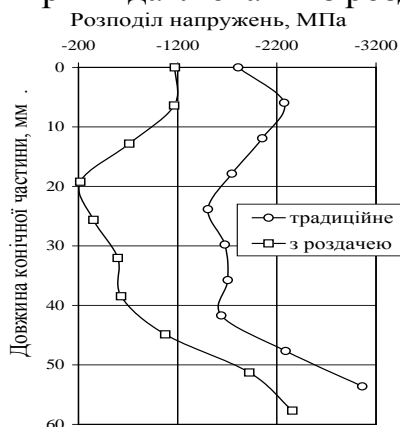


Рис. 5. Розподіл напружень σ_y на конічній поверхні матриці

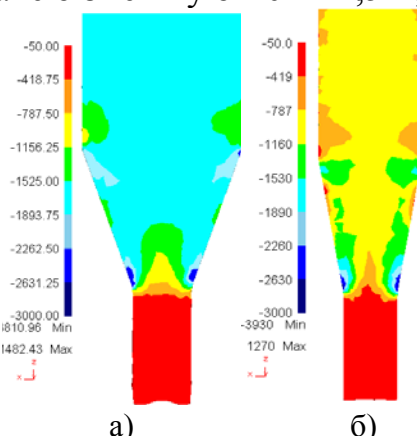


Рис. 6. Розподіл в перерізах заготовки гідростатичного тиску при традиційному видавлюванні (а) та з роздачею (б)

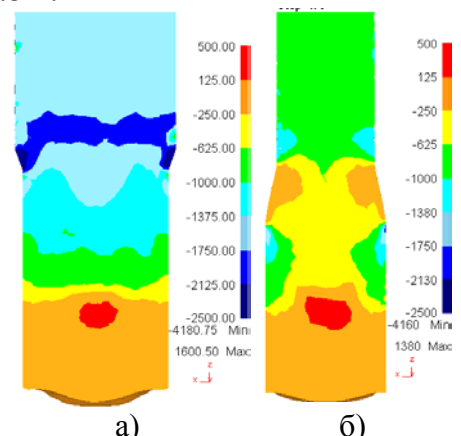


Рис. 7. Розподіл напружень σ_x при традиційному видавлюванні (а) та з роздачею (б)

На рис. 6 наведено розподіл в перерізі заготовки гідростатичного тиску при традиційному видавлюванні (а) та з роздачею (б). При традиційному видавлюванні середнє значення гідростатичного тиску в осередку деформації складає - 1700 МПа, а при видавлюванні з роздачею воно складає - 900 МПа. Тобто видавлювання з роздачею дозволяє зменшити по абсолютній величині величину гідростатичного тиску в 1,9 разів. Зміна гідростатичного тиску обумовлена зменшенням по абсолютній величині напружень σ_x з 1180 МПа до 430 МПа. Вказане є основними причинами зниження зусилля видавлювання з роздачею в порівнянні з традиційним видавлюванням.

Розрахунком встановлено, що використання деформуючої поверхні матриці у вигляді призматичної поверхні замість конічної поверхні (див. рис. 1. б) дозволяє

додатково зменшити зусилля видавлювання на 24 %, що також обумовлене зміною гідростатичного тиску в осередку деформації. Моделюванням МСЕ встановлено вплив кута конуса матриці γ (10, 20, 30, 40 і 50 градусів) та коефіцієнта тертя (0,08 і 0,12) на силові режими видавлювання, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті та заповнення прямокутного профілю розміром 26 на 6 мм при видавлюванні заготовки діаметром $D_3 = 16$ мм із сталі 20. Максимальні значення

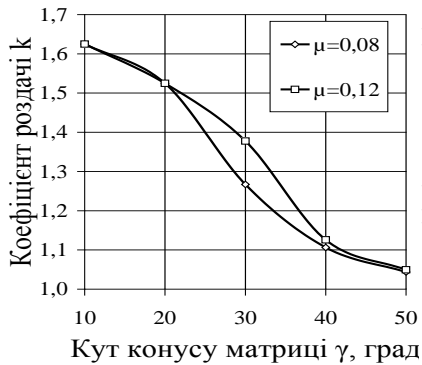


Рис. 8. Вплив кута конусу матриці та коефіцієнта тертя на коефіцієнт роздачі

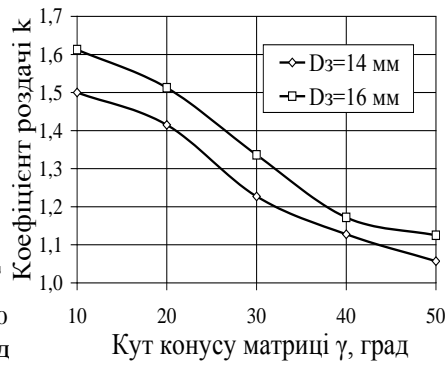


Рис. 9. Вплив діаметра заготовки та кута конусу матриці на коефіцієнт роздачі

(b_0 - максимальний розмір профілю після видавлювання). На рис. 8 показана залежність коефіцієнта роздачі k від кута конусу матриці γ і коефіцієнта тертя μ . Чітке заповнення профілю забезпечують кути матриці 10° і 20° . Встановлено, що коефіцієнт тертя не суттєво впливає на коефіцієнт роздачі. На рис. 9 показані результати моделювання по впливу діаметра заготовки D_3 та кута конусу матриці γ на коефіцієнт роздачі k . Збільшення діаметра вихідної заготовки з 14 мм до 16 мм (на 12,5%) приводить до зростання коефіцієнта роздачі в середньому на 6% при розглянутих кутах матриці. Зусилля видавлювання при цьому зростає на 60%.

У четвертому розділі проведена оцінка адекватності розроблених математичних моделей на основі визначення силових режимів видавлювання та заповнення профілю при традиційному видавлюванні та з роздачею. Представлено

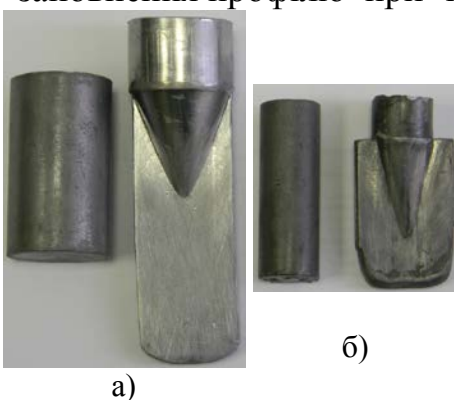


Рис. 10. Вихідні та zdeформовані заготовки для традиційного видавлювання (а) та видавлювання з роздачею (б)

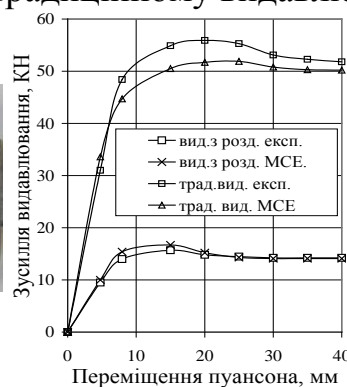


Рис. 11. Залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона

зусиль видавлювання відповідно до наведених кутів складають: 0,476; 0,41; 0,42; 0,46 і 0,48 МН. Збільшення коефіцієнта тертя з 0,08 до 0,12 приводить до зростання зусилля видавлювання в середньому на 9,5 %. Заповнення прямокутного профілю визначали по коефіцієнту роздачі $k = b_0 / D_3$.

На рис. 8 показана залежність коефіцієнта роздачі k від кута конусу матриці γ і коефіцієнта тертя μ . Чітке заповнення профілю забезпечують кути матриці 10° і 20° . Встановлено, що коефіцієнт тертя не суттєво впливає на коефіцієнт роздачі. На рис. 9 показані результати моделювання по впливу діаметра заготовки D_3 та кута конусу матриці γ на коефіцієнт роздачі k . Збільшення діаметра вихідної заготовки з 14 мм до 16 мм (на 12,5%) приводить до зростання коефіцієнта роздачі в середньому на 6% при розглянутих кутах матриці. Зусилля видавлювання при цьому зростає на 60%.

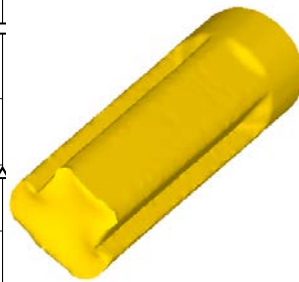
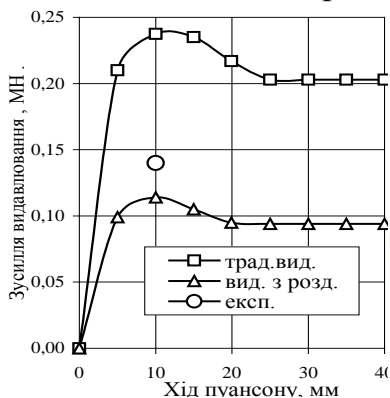
Представлено результати розрахунково-теоретичних і експериментальних досліджень видавлювання профілів з роздачею з заготовок із свинцю С1. Видавлювання виконували на випробувальній машині «TIRA test 2300» з фіксацією графіка залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона.

Проведено порівняння результатів видавлювання прямокутних профілів

однакового розміру (26 на 6 мм) традиційним способом і з роздачею. В першому випадку використовували заготовку діаметром 27 мм, в другому – 16 мм. Вихідні та zdeформовані заготовки для вказаних способів видавлювання наведені на рис. 10. На

рис. 11 представлено графіки залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансону. Різниця експериментальних даних і результатів розрахунків МСЕ склала 7-8%.

У п'ятому розділі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика проектування технологічних процесів холодного прямого видавлювання профілів з роздачею. Розроблено рекомендації з розрахунку і призначення технологічних параметрів і форми деформуючого інструменту. Запропоновано конструкції штампового оснащення для здійснення процесу видавлювання з роздачею профілів різноманітної конфігурації. Зокрема для



видавлювання т-образного профілю із сталі 10 розрахунковим шляхом визначені силові режими і кінцева геометрія профілю (рис. 12 і 13). В порівнянні з традиційним видавлюванням зусилля знижено в 2 рази, діаметр вихідної заготовки зменшено з 22 мм до 18 мм. На рис. 14 показано Т-образні профілі, які отримані холодним видавлюванням з роздачею.

Рис. 12. Силові режими видавлювання
Рис. 13. Здеформована заготовка

Розроблена та впроваджена

технологія та штампове оснащення для виготовлення вказаного профілю на АО "ГК МГ" м. Київ (акт впровадження від 1.06.2003 р.). Створено технологічний процес та штампове оснащення для видавлювання профілів із сталі 4ХН2МФА-Ш, що були впровадженні на та ТОВ «Аврора» м. Харків (акт впровадження від 01.02.2010 р.).

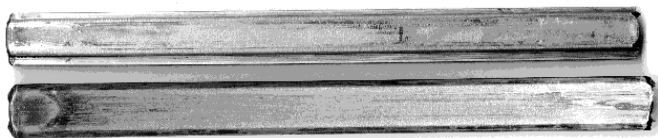


Рис. 14. Видавлений профіль

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі в практичних і лабораторних роботах студентів і магістрантів спеціальності „Обладнання для обробки металів тиском”

на кафедрі механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів Національного технічного університету України «КПІ» в курсах «Технологія холодного об'ємного штампування» та «Чисельні методи аналізу процесів ОМТ» (довідка від 17.09.2010 р.).

ЗАГАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ.

У дисертаційній роботі обґрунтована та вирішена науково-практична задача отримання профілів холодним видавлюванням з підвищеними властивостями. Отримані нові науково-технічні результати з розвитку методик розрахунку і проектування, а також удосконалення технологій і штампового оснащення процесів холодного прямого видавлювання профілів з роздачею і на цій основі вирішені актуальні задачі, які спрямовані на зниження енергоємності видавлювання і підвищення стійкості деформуючого інструменту; розширення номенклатури конструкційних сталей, що обробляються в холодному стані та номенклатури профілів.

1. На підставі проведеного аналізу встановлено, що способи холодного видавлювання профілів забезпечують: ресурсозбереження, високу точність та підвищену надійність і довговічність виробів та знаходять зростаюче використання в металообробних галузях промисловості. Встановлено, що найбільш перспективним способом формоутворення профілів холодним видавлюванням можна вважати видавлювання з роздачею, коли діаметр вихідної заготовки менший за максимальний розмір профілю. Для використання способу необхідний розвиток методів і моделей розрахунку режимів видавлювання металу, питомих зусиль на деформуючому інструменті, напружено - деформованого стану, а також методик і рекомендацій з проектування технологій і штампового оснащення.

2. Інженерним методом отримані аналітичні залежності для визначення зусилля прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів з урахуванням тертя на контактуючих поверхнях та зміцнення металу, що деформується. Порівняння теоретичних результатів з експериментальними даними по зусиллю видавлювання дає відхилення до 10 %.

3. Методом скінчених елементів встановлено і експериментально підтверджено, що холодне пряме видавлювання з роздачею прямокутних профілів із сталі, в порівнянні з традиційним прямим видавлюванням, забезпечує зниження: зусилля видавлювання в 2- 3,4 рази; питомих зусиль на пуансоні в 1,7 разів; питомих зусиль на матриці в 1,5 -1,6 разів в залежності від розміру прямокутного профілю. Причинами зниження зусиль є використання вихідних заготовок меншого в 1,4 рази діаметру та зниження по абсолютній величині гідростатичного тиску в осередку деформації за рахунок зміни схеми напруженого стану.

4. Встановлений вплив кута конуса матриці γ величиною 10, 20, 30, 40 і 50 градусів на кінцеву геометрію профілів, силові режими, питомі зусилля видавлювання профілів та основний показник формоутворення профілів - коефіцієнт роздачі $k = b_0 / D_3$, який характеризується відношенням максимального розміру отриманого профілю b_0 до діаметра вихідної заготовки D_3 . Малі кути матриці (10° і 20°) забезпечують максимальний коефіцієнт роздачі. Мінімальне зусилля видавлювання забезпечує кут $\gamma = 20^\circ$. Коефіцієнт тертя не суттєво впливає на величину коефіцієнта роздачі.

5. На коефіцієнт роздачі впливає величина діаметра вихідної заготовки. При збільшенні діаметра заготовки на 12 % коефіцієнт роздачі зростає на 6 % за рахунок більш інтенсивної течії металу в поперечному напрямку при деформації по конічній поверхні матриці. Однак зусилля видавлювання при цьому збільшується на 60 %.

6. Встановлено, що при прямому видавлюванні з роздачею профілів однакових розмірів з заготовок одного діаметра заміна деформуючої поверхні матриці з конічної на призматичну приводить до зменшення зусилля видавлювання на 24 %.

7. Розроблені технологічні рекомендації і методики проектування процесів холодного прямого видавлювання з роздачею профілів, конструкції штампового оснащення на стандартне гідропресове обладнання для отримання вказаним методом профілів різноманітної конфігурації із сталей, які були впровадженні на АО "ГК МГ" м. Київ та ТОВ «Аврора» м. Харків. Результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються в навчальному процесі при вивченні дисциплін „Технологія холодного об'ємного штампування”, „Чисельні

методи аналізу процесів обробки металів тиском” та при виконанні курсових, дипломних проектів і магістерських робіт студентами спеціальності „Обладнання для обробки металів тиском” (довідка від 17.09.2010р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Калюжний В.Л. Вплив контактного тертя на процес зворотнього холодного видавлювання стаканів / Калюжний В.Л., Горностай В.М. // Вісник Житомирського інженерно-технічного інституту. №19.–Житомир. 2001. –С. 36-39. *(Здобувачем проведено комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів та аналіз результатів розрахунків).*
2. Калюжний В.Л. Розрахунковий аналіз впливу радіуса робочого торця пуансона на процес зворотнього холодного видавлювання стаканів / Калюжний В.Л., Горностай В.М. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* №8-9, 2002. – С. 519-523. *(Здобувачем проведено моделювання процесів видавлювання методом скінченних елементів).*
3. Калюжний В.Л. Розрахунковий аналіз зворотнього видавлювання стаканів із заготовок різної висоти / Калюжний В.Л., Горностай В.М. // *Технологические системы,* №3(14). –Київ.– 2002. – С. 73-77. *(Здобувачем виконаний розрахунковий аналіз методом скінченних елементів та аналіз результатів розрахунків).*
4. Калюжний В.Л. Холодне пряме пресування виробів складного профілю / Калюжний В.Л., Горностай В.Н., Губерман М.С., Обухов В.И. // *Вестник НТУУ “КПИ”. Машиностроение,* вып.43. – Київ. – 2002. – С. 44-46. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження видавлювання профілів складної конфігурації).*
5. Калюжний В.Л. Розрахунково-експериментальний аналіз холодного пресування профілів з роздачею / Калюжний В.Л., Горностай В.М. // *Вісник Житомирського державного технологічного університету.* №30. – Житомир. 2004. - С.3-8. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження формоутворення профілів з роздачею).*
6. Стародуб М.П. Виготовлення заготовок карбувальних штемпелів холодним пресуванням / Стародуб М.П., Стеблюк В.І., Калюжний В.Л., Маковей В.О., Горностай В.М., Мазепа А.В. // *Тематичний збірник наукових праць: Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні.* Краматорськ, ДДМА 2007. с. 226-230. *(Здобувачем проведено експериментальні роботи по холодному прямому видавлюванні заготовок карбувальних штемпелів).*
7. В.Л. Калюжний. Моделювання умов навантаження та вплив конструктивних факторів на напружений стан карбувальних штемпелів / В.Л. Калюжний, В.О.Маковей, М.П. Стародуб, В.М. Горностай. // *Вісник НТУУ “КПИ” Машинобудування,* випуск 54 – Київ. - 2008. с. 5-13. *(Здобувачем проведений розрахунковий аналіз напруженого стану карбувальних штемпелів, виконаний аналіз результатів розрахунків).*
8. В.Л. Калюжний. Визначення зусилля прямого холодного видавлювання з роздачею прямокутних профілів / В.Л. Калюжний, О.В. Калюжний, В.М. Горностай, І.Я. Крижанівська. // *Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов,* № 1(20)-2009, Краматорск, ДГМА. с. 23-27. *(Здобувачем інженерним методом*

отримані залежності для визначення зусилля деформування процесів холодного прямого видавлювання з роздачею прямокутних профілів).

9. В.Л. Калюжний. Безвідхідні технології виготовлення профілів із сталей / В.Л. Калюжний, О.В. Калюжний, В.М. Горностай, В.В.Піманов // Наукові нотатки Міжвузівський збірник. Луцький національний технічний університет. Вип. 25, частина 1, 2009.с. 107-111. *(Здобувачем розроблена технологія виготовлення прямокутних профілів із сталей методом холодного прямого видавлювання з роздачею).*

10. В.Л. Калюжний. Розрахунковий аналіз холодного прямого видавлювання прямокутних профілів з високовуглецевих сталей / В.Л. Калюжний, М.В. Орлюк, В.М. Горностай, О.С. Запорожченко // Вісник НТУУ “КПІ” Машинобудування, випуск 60 – Київ.-2010. с. 77-81. *(Здобувачем методом скінченних елементів проведений розрахунковий аналіз процесів холодного видавлювання з роздачею профілів).*

11. Маковой В.А. Проблемы повышения стойкости чеканочных штампов / Маковой В.А., Калюжный В.Л., Горностай В.Н. Стародуб Н.П. // Металлообработка. Научно - производственный журнал. Санкт-Петербург. № 1(55) 2010.с. 39-46. *(Здобувачем запропонований метод виготовлення заготовок карбувальних штампелів холодним об'ємним штампуванням, що забезпечує підвищення стійкості штампелів).*

В наведених нижче патентах автором внесено рівноцінний вклад.

12. Пат. 40860 Україна, МПК (2006): В21С 23/00, В23К 20/00, В21D 22/00 Спосіб виготовлення біметалевих виробів. . Пат. 40860 Україна, МПК (2006): В21С 23/00, В23К 20/00, В21D 22/00 Тривайло М.С., Тітов В.А., Борис Р.С., Сабол С.Ф., Горностай В.М., Холявік О.В. (Україна); Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».- № u200813980 ; Заявл. 04.12.2008 Опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8/2009.

13. Пат. 54052 Україна, МПК (2006): В21С 23/00 Спосіб деформаційної обробки: Пат. 54052 Україна, МПК (2006): В21С 23/00 Калюжний В.Л., Калюжний О.В., Горностай В.М., Піманов В.В., Запорожченко О.С., Єлін Є.М. (Україна); Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».- № u201004901; Заявл. 23.04.2010 Опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20/2010.

АНОТАЦІЯ

Горностай В.М. Холодне видавлювання з роздачею профілів із конструкційних металів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 - процеси і машини обробки тиском. - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2011 р.

Дисертація присвячена удосконаленню процесів холодного видавлювання профілів з роздачею в напрямку зниження зусиль деформування, підвищення стійкості деформуючого інструменту та отримання виробів підвищеної надійності та довговічності.

Сучасна промисловість потребує ресурсозберігаючих високопродуктивних технологій виготовлення високоточних профілів із сталей з механічними властивостями здеформованого металу, які задовольняють умовам експлуатації. Встановлено що перспективним способом отримання вказаних профілів є пряме холодне видавлювання з роздачею.

На основі інженерного методу та методу скінченних елементів отримали подальший розвиток математичні моделі процесу холодного видавлювання профілів з роздачею, які дозволяють проводити аналіз формоутворення профілів на всіх стадіях процесу, визначати вплив конструктивних, технологічних параметрів видавлювання та механічних властивостей вихідного металу на кінцеву геометрію профілів, силові режими, розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, напружено-деформований стан здеформованого металу і прогнозувати якість профілів.

Запропоновано рекомендації для проектування технологій і штампового оснащення для процесів холодного видавлювання профілів з роздачею. Результати теоретичних та експериментальних досліджень використані при розробленні та впровадженні технологій виготовлення профілів різної конфігурації.

Ключові слова: холодне пряме видавлювання з роздачею, математичні моделі, силові режими, питомі зусилля, напружено-деформований стан, прямокутний профіль, якість профілів.

АННОТАЦИЯ

Горноста́й В.Н. Холодное выдавливание с раздачей профилей из конструкционных металлов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук за специальностью 05.03.05 - процессы и машины обработки давлением. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 2011 г.

Диссертация посвящена усовершенствованию процессов холодного выдавливания профилей из конструкционных металлов и сплавов с раздачей для снижения усилий деформирования, повышения стойкости деформирующего инструмента и получения изделий повышенной надежности и долговечности.

Современная промышленность нуждается в ресурсосберегающих высокопроизводительных технологиях изготовления высокоточных профилей из конструкционных металлов с механическими свойствами деформированного металла, которые удовлетворяют условиям эксплуатации. Установлено, что перспективным способом получения указанных профилей является прямое холодное выдавливание с раздачей, который позволяет снизить удельные усилия на деформирующем инструменте и общее усилие выдавливания, повысить стойкость инструмента и получать профили с повышенными механическими характеристиками. Для данного способа отсутствуют рекомендации по выбору геометрии рабочего инструмента, нет аналитических зависимостей по определению технологического усилия. А также отсутствуют данные по влиянию контактного

трения на параметры технологического процесса выдавливания с раздачей и на конечную форму получаемого профиля.

На основе инженерного метода и метода конечных элементов получили дальнейшее развитие математические модели процесса холодного выдавливания профилей из конструкционных металлов с раздачей. Что позволило анализировать формообразование профилей на всех стадиях процесса; учитывать влияние конструктивных параметров (угол конуса матрицы и геометрия пуансона); учитывать влияние технологических параметров выдавливания (форму заготовки, степень деформации, коэффициент трения); учитывать механические свойства исходного металла (упругие свойства материала, диаграмму истинных напряжений, диаграмму пластичности).

Установлено влияние указанных параметров на конечную геометрию профилей, силовые режимы выдавливания, распределение удельных усилий на деформирующем инструменте, напряженно-деформированное состояние металла и прогнозировать качество профилей из конструкционных металлов и сплавов.

Предложены рекомендации по проектированию технологий и штамповой оснастки для процессов холодного выдавливания профилей различной конфигурации с раздачей из конструкционных металлов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при разработке и внедрении технологий изготовления профилей разной конфигурации.

Ключевые слова: холодное прямое выдавливание с раздачей, математические модели, метод конечных элементов, силовые режимы, удельные усилия, напряженно-деформированное состояние, прямоугольный профиль, качество профилей.

ABSTRACT

Cold extrusion with dispensing of profiles made of constructional materials. – The Manuscript.

Dissertation for achieving the scientific degree of candidate of technical science in speciality 05.03.05 – processes and machines for application. - National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”. Kiev, 2010.

Dissertation devoted for improvement the efficiency of processes of cold extrusion with dispensing of profiles for decreasing straining force, enhancing the durability of forming tool and obtaining products with enhanced dependability and durability.

The modern industry needs the resource – saving and high-productive technologies of obtaining high-accuracy profiles made of constructional materials with mechanical properties of deformed metal which satisfy the application conditions. It is established that straight cold extrusion with dispensing is perspective way of obtaining profiles referred above.

Further developments of mathematical models of cold extrusion of profiles with dispensing were obtaining on the base of engineering method and finite element method. Mathematical models enable to carry out the analysis of profiles forming on the all stages of process, to determine the influence of construction, technological parameters of extrusion and mechanical properties of initial material on the final geometry, power

modes, specific stress distribution on the work tools, stressedly deformed state of deformed metal and to predict the quality of products.

Recommendations for designing of technologies and die tooling for processes of cold extrusion of profiles with dispensing are proposed. The results of theoretical and experimental investigations were utilized for development and implementation of technology for production of profiles with different configuration.

Key words: cold straight extrusion with dispensing, mathematical models, power modes, specific stress, mode of deformation, rectangle profile, profile quality.