

УДК 621.777

В.Л. КАЛЮЖНИЙ, А.М. ПОТЯТИНИК, І.П. КУЛІКОВ, С.І. УНГУРЯН

ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗДЕФОРМОВАНОГО МЕТАЛУ ПРИ ХОЛОДНОМУ ПРЯМОМУ ВИДАВЛЮВАННІ СТЕРЖНЕВИХ ВИРОБІВ ПО СХЕМІ «ЗАГОТОВКА ЗА ЗАГОТОВКОЮ»

Методом скінченних елементів проведений аналіз холодного прямого видавлювання круглих стержнів з міді М3 по схемі «заготовка за заготовкою» з різним ступенем деформації. Для перевірки адекватності створених моделей виконаний розрахунковий аналіз такого видавлювання стержнів із сталі 45ХНМФА-Ш, проведені експериментальні дослідження і порівняні результати по зусиллю деформування та по межі текучості здеформованого металу. Моделюванням видавлювання стержнів з міді встановлені залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансонів, розподіли питомих зусиль на деформуючому інструменті при максимальному зусиллі деформування. Також виявлені напружено-деформований стан, ступінь використання ресурса пластичності, температура здеформованого металу та кінцеві форма і розміри виробів. На основі розрахункових даних по інтенсивності деформацій та з використанням експериментальної діаграми істинних напружень проведено прогнозування величини межі текучості здеформованого металу по перерізу стержнів після видавлювання.

Ключові слова: пряме видавлювання, круглі стержні, ступінь деформації, метод скінченних елементів, зусилля видавлювання, питомі зусилля, напружено-деформований стан, ресурс пластичності, межа текучості здеформованого металу.

Методом конечных элементов проведен анализ холодного прямого выдавливания круглых стержней с меди М3 по схеме "заготовка за заготовкой" с разной степенью деформации. Для проверки адекватности созданных моделей выполнен расчетный анализ такого выдавливания стержней из стали 45ХНМФА-Ш, проведены экспериментальные исследования и сравнены результаты по усилию деформирования и по пределу текучести деформированного металла. Моделированием выдавливания стержней из меди установлены зависимости усилия выдавливания от перемещения пуансона, распределения удельных усилий на деформирующем инструменте при максимальном усилии деформирования. Также выявлены напряженно-деформированное состояние, степень использования ресурса пластичности, температура деформированного металла и конечные форма и размеры изделий. На основе расчетных данных по интенсивности деформаций и с использованием экспериментальной диаграммы истинных напряжений проведено прогнозирование величины предела текучести деформированного металла в продольном сечении стержней после выдавливания.

Ключевые слова: прямое выдавливание, круглые стержни, степень деформации, метод конечных элементов, усилие выдавливания, удельные усилия, напряжения, деформации, предел текучести деформированного металла.

The finite element method was used for carried out the analysis of cold forward extrusion of round rods according to the scheme "workpiece behind the workpiece" of core products with varying degrees of deformation. To verify the adequacy of the created models, a computational analysis of such extrusion of steel 45ChNMFA-SH rods was performed, also were carried out the experimental researches and compared results of the deformation force and the yield strength of the deformed metal. There're identified dependence of the extrusion's forces of moving punch and the distribution of the normal stress on the deforming tool at maximum force deformation by modeling the extrusion of copper rods. Also revealed are the stress-strain state, the degree of using the resource of plasticity, the temperature of the deformed metal, and the final shape and size of the products. Based on calculated data of the intensity of deformation, using the experimental diagram of true stress were conducted prediction values of the yield strength of the deformed metal in the longitudinal section of the rods after extrusion.

Keywords: forward extrusion, round rods, degree of deformation, finite element method, extrusion's force, normal stress, deformation, yield strength of the deformed metal.

Вступ. При виготовленні виробів холодним об'ємним штампуванням (ХОШ) актуальним є вирішення задач по розширенню марок матеріалів для холодного формоутворення, ускладнення геометричної форми виробів та по отримання відповідальних деталей із заданими вимогами по фізико-механічних властивостях здеформованого металу. В теперішній час технологічні процеси ХОШ та конструкції штампного оснащення проектується в основному для отримання виробів необхідної форми по даних джерел [1, 2], які базуються на виробничому досвіді та експериментальних даних. Для холодного видавлювання стержневих виробів прямим видавлюванням мають місце окремі експериментальні дані по впливу холодної деформації на властивості здеформованого металу [3, 4]. Однак проведення експериментальних робіт зараз пов'язано зі значними матеріальними затратами та потребує багато часу. Тому також актуальними задачами є створення математичних моделей, які на стадії проектування технології ХОШ дозволяють достатньо швидко отримати параметри для виготовлення необхідної форми виробів, та встановлення можливості

пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією по об'єму виробів або в окремих його частинах. Використання метода скінченних елементів (МСЕ) для розрахункового аналізу холодного прямого видавлювання дозволяє встановлювати зусилля видавлювання, питомі зусилля на деформуючому інструменті, напружено-деформований стан у здеформованому металі та кінцеві форми і розміри виробів [5–8]. Однак практично відсутні такі дані для процесу холодного прямого видавлювання круглих стержнів по схемі «заготовка за заготовкою». Вказаний процес широко використовують для отримання стержнів з заданими механічними властивостями здеформованого металу.

Пряме видавлювання по схемі «заготовка за заготовкою». Пряме видавлювання по схемі «заготовка за заготовкою» з позначеннями зображено на рис. 1. Ліворуч від вісі симетрії наведено положення перед видавлюванням, праворуч – в процесі видавлювання. Першу заготовку 1 діаметром D_0 і висотою H_0 встановлюють в кінчній матриці 2, на якій розміщений контейнер 3 (рис. 1а). Контейнер

3 і матрицю 2 фіксують на плиті 4. Деформування виконують за допомогою пуансона 5 та отримують напівфабрикат 6.

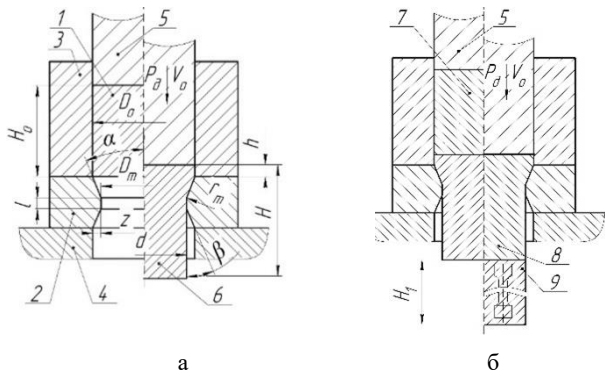


Рис. 1 – Виготовлення деталі прямим видавлюванням по схемі «заготовка за заготовкою»: а – схема видавлювання першої заготовки, б – схема видавлювання другої заготовки

Після видавлювання першої заготовки в контейнер 3 розміщують другу заготовку 7, яка при формоутворенні другого напівфабриката 8, дозволяє отримати виріб 9, що має висоту H_1 (рис. 1б). Визначення механічних властивостей здеформованого металу виконують випробуванням на розтяг стандартних зразків, які вирізають в поздовжньому напрямку з виробу 9 (показано тонкими лініями).

Мета роботи. Метою роботи є встановлення впливу ступеня деформації на параметри формоутворення круглих стержнів прямим видавлюванням по схемі «заготовка за заготовкою» та визначення межі текучості здеформованого металу.

Постановка задачі для моделювання прямого видавлювання по схемі «заготовка за заготовкою». Встановлення параметрів холодного прямого видавлювання круглих стержнів проведено шляхом створення математичних моделей з використанням МСЕ та проведенням чисельних експериментів із застосуванням програми DEFORM. Використана пружно-пластична модель ізотропного металу. Деформуючий інструмент вважався абсолютно жорстким. Тертя враховували по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$. Швидкість деформування складала $V_o = 2$ мм/сек.

Перевірку адекватності створених моделей на основі МСЕ проводили на розрахунках прямого видавлювання заготовки із сталі 45ХНМФА-Ш з подальшим проведенням експериментальних досліджень. Розміри заготовки – $D_o = 38$ мм, $H_o = 250$ мм. Деформування виконували пуансоном діаметром $D_n = 38$ мм через конічну матрицю з $D_m = 32$ мм, $\alpha = 16^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $l = 3$ мм, $r_m = 1$ мм, $h = 5$ мм. Моделювання прямого видавлювання стержнів із міді МЗ проводили для заготовок з розмірами $D_o = 38$ мм, $H_o = 76$ мм. Розміри матриці були наступні: $\alpha = 16^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $l = 3$ мм, $z = 0,15$ мм, $r_m = 2$ мм, $h = 5$ мм. Діаметр матриці D_m визначався ступенем деформації

$\varepsilon = (1 - D_m^2 / D_o^2) * 100$. Розрахунки проводили для $\varepsilon = 10, 20, 30, 40, 50, 60$ і 70% . При цьому величина діаметра D_m відповідно дорівнювала 36; 34; 31,8; 29,4; 26,9; 24 і 20,8 мм.

Перевірка адекватності результатів чисельного моделювання. Розрахункові схеми в розрізі на початку та в кінці видавлювання першої і другої заготовок із сталі 45ХНМФА-Ш зображені на рис. 2. На рис. 2а наведена схема на початку видавлювання першої заготовки. Вихідна заготовка 1 розміщена в контейнері 2 на матриці 3. Зусилля деформування прикладали за допомогою пуансона 4. В результаті видавлювання першої заготовки отримували напівфабрикат 5 (рис. 2б). Другу заготовку 6 встановлювали на напівфабрикат 5 (рис. 2в). Після видавлювання другої заготовки отримували виріб 7 і напівфабрикат 8 (рис. 2г).

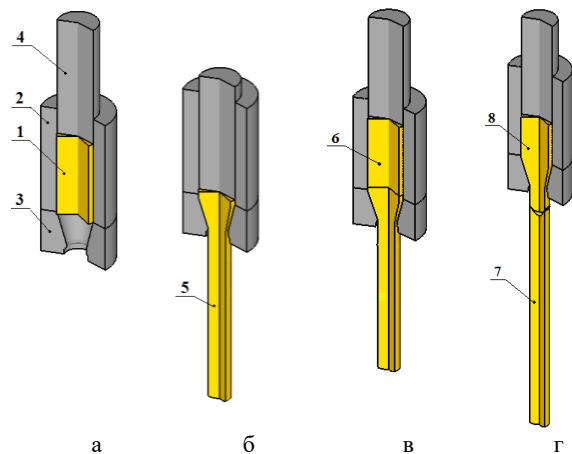


Рис. 2 – Розрахункові схеми в розрізі на початку та в кінці видавлювання першої та другої заготовок

На рис. 3 зображені залежності зусилля видавлювання від переміщення пуансона при видавлюванні першої та другої заготовок.

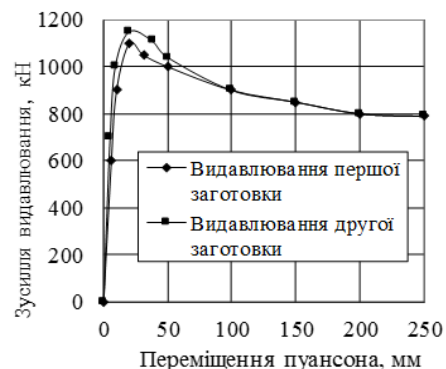


Рис. 3 – Залежності зусилля видавлювання першої та другої заготовок від переміщення пуансона

Максимальне зусилля видавлювання досягається при переміщенні пуансона на 19,9 мм і складає 1100 кН, після чого зусилля поступово спадає і в кінці видавлювання становить 800 кН. На початку видавлювання другої заготовки зусилля дещо більше

(1150 кН) від зусилля деформування першої заготовки. Для проектування штампного оснащення необхідно знати величини питомих зусиль на деформуючому інструменті. Величини питомих зусиль визначали по розподілу нормальних напружень на поверхні заготовки, що контактує з інструментом. На рис. 4 зображені розподіли питомих зусиль на деформуючому інструменті при максимальному зусиллі видавлювання другої заготовки. На рис. 4а наведений розподіл питомих зусиль по радіусу пуансона. Максимальне значення цього зусилля складає 970 МПа на радіусі 12 мм. На контейнері найбільше значення питомих зусиль 520 МПа отримане на верхній частині (рис. 4б) з подальшим зменшенням до 140 МПа в місці контакту контейнера та матриці. При таких питомих зусиллях контейнер необхідно виконувати однобандажованим. На матриці максимальне питомих зусиль 1500 МПа виникає в місці переходу конусної частини в калібруючий пояс з подальшим зменшенням до 1000 МПа на радіусі конусної поверхні 18 мм, а потім іде збільшення до 1170 МПа на радіусі 18,7 мм (рис. 4в). Такі значення питомих зусиль потребують застосування двохбандажованої матриці.

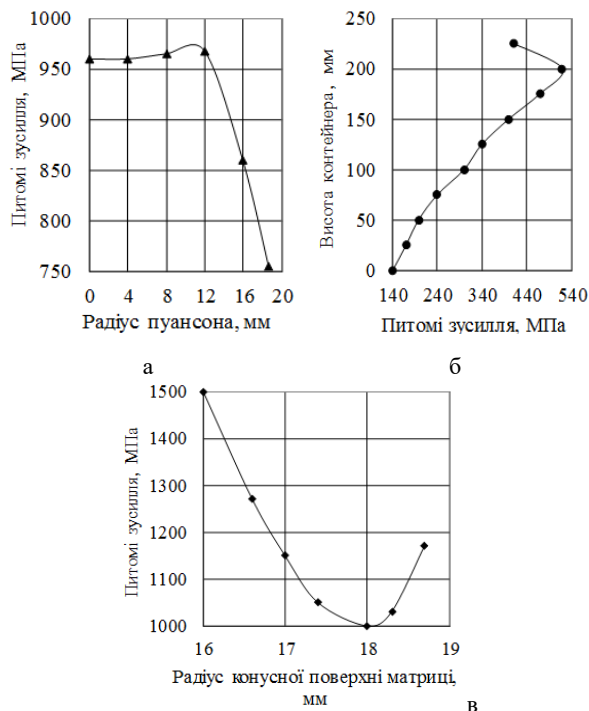


Рис. 4 – Розподіли питомих на деформуючому інструменті: а – по радіусу пунсона, б – по радіусу конусної поверхні матриці, в – по висоті контейнера

Розподіли ступеня використання ресурсу пластичності Ψ та температури у верхніх частинах здеформованих заготовок зображені на рис. 5. Тут і в подальшому тонкими лініями показаний деформуючий інструмент, а по всіх наведені розміри в міліметрах. При величині $\Psi = 1$ відбувається руйнування здеформованого металу. Ресурс

пластичності найбільше вичерпується у зовнішніх шарах металу стержня і має величину $\Psi = 0,85$ (рис. 5а). На вісі стержня отримано $\Psi = 0,25$. При холодному формоутворенні підвищується температура здеформованого металу. На рис. 5б наведений розподіл температури. По довжині стержня температура складає $T = 95^\circ \text{C}$.

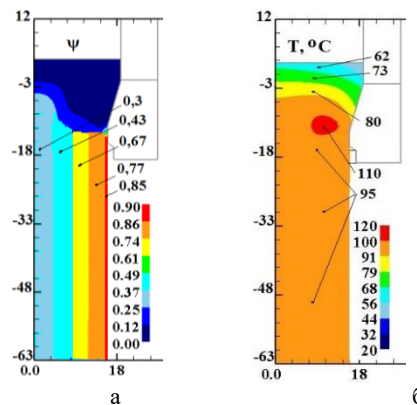


Рис. 5 – Розподіли ступеня використання ресурсу пластичності Ψ та температури у верхніх частинах здеформованих заготовок

Геометричні форми першої та нижнього торця другої заготовок та розподіл інтенсивності деформацій по ширині стержня приведені на рис. 6. На нижньому торці першої заготовки утворюється викривлення висотою 1,51 мм, а на верхньому має місце утяжина глибиною 4,34 мм (рис. 6а). На рис. 4б приведена форма нижнього торця другої і наступних заготовок з викривленням 3,3 мм (рис. 4б). Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією та межу текучості здеформованого металу можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i по ширині стержня, який приведений на рис. 4в.

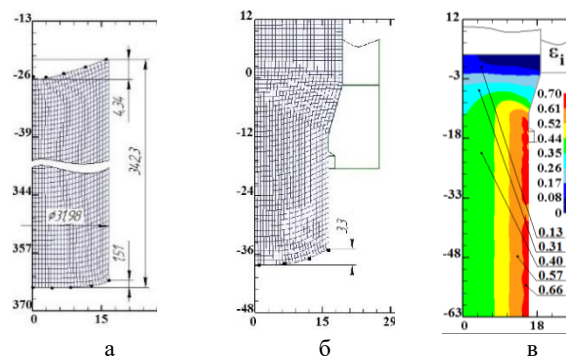


Рис. 6 – Форма та розміри в міліметрах здеформованих заготовок та розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i по ширині стержня: а – форма та розміри першої заготовки, б – форма нижнього торця другої заготовки, в – розподіл ϵ_i

В шарах металу на вісі стержня отримано $\epsilon_i = 0,4$. А у шарах металу зовнішньої поверхні стержня величина таких деформації знаходиться в межах $\epsilon_i = 0,5 \div 0,7$. По експериментальній діаграмі істинних

напружень напруження текучості σ_s має значення: на вісі стержня при $\varepsilon_i=0,4$ – $\sigma_s=780$ МПа; біля зовнішньої поверхні при $\varepsilon_i=0,6$ – $\sigma_s=950$ МПа.

Для проведення експериментальних робіт по розрахункових даних було спроектовано та виготовлено штамп для прямого видавлювання по схемі «заготовка за заготовкою». Конструкція штамп для прямого видавлювання зображена на рис. 7.

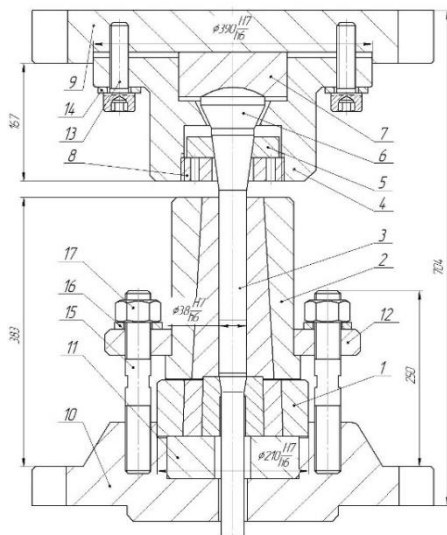


Рис. 7 – Конструкція штамп для прямого видавлювання

Двохбандажована матриця 1 і одnobандажований контейнер 2 встановлені на опорі 11 та закріплені до нижньої плити 10 за допомогою кільця 12, шпильок 15, шайб 16 і гайок 17. До верхньої плити 9 гвинтами 13 з шайбами 14 закріплені пуансонотримач 4 з п'ятою 6 та підп'ятником 7. В пуансонотримачі 4 розміщені конусне кільце 5 з пуансоном 3 та фіксуються гайкою 8.

Робота штамп. В контейнер 2 встановлюють першу вихідну заготовку. При ході повзуна вниз деформують першу заготовку з пресзалишком висотою 5 мм. Після цього в контейнер 2 розміщують другу заготовку, яка після видавлювання витискує першу заготовку із матриці.

Штамп встановлювали на гідравлічному пресі ДБ2432 зусиллям 1,6 МН. Вихідні заготовки із сталі 45ХНМФА-Ш підлягали відпалу та фосфатуванню з омилюванням. Фотографії штамп на пресі, вихідної заготовки та zdeформованих заготовок показані на рис. 8. У першій та другій zdeформованих заготовках проведені заміри в перерізі торців. Результати замірів практично співпали з даними моделювання (див. рис. 6а і 6б, на яких результати показані крапками). Зусилля видавлювання першої і наступних заготовок визначали по показникам манометра преса. Максимальне зусилля видавлювання першої заготовки склало 1120 кН, а наступних – 1170 кН.

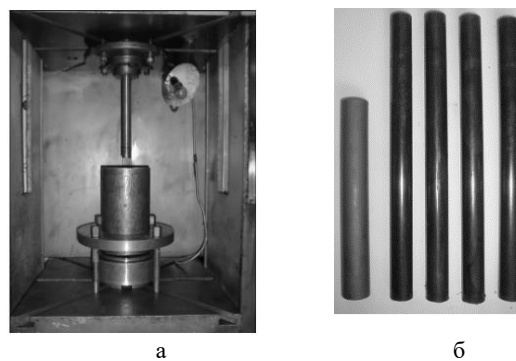


Рис. 8 – Фотографії штамп: а – на пресі, б – вихідної та zdeформованих заготовок

Відмінність з даними моделювання складає до 3 кН. Із стержнів, які отримані видавлюванням, виготовляли стандартні зразки для випробування на розтяг. По три зразки було вирізано на вісі стержня та біля зовнішньої поверхні. В результаті випробування зразків у вказаних місцях отримані величини напруження текучості відповідно $\sigma_s=760$ МПа і $\sigma_s=930$ МПа. У відпаленому стані умовна межа текучості для такої сталі складає $\sigma_{0,2}=350$ МПа. В результаті зміцнення напруження текучості збільшується в 2,2–2,6 рази. Порівняння отриманих зусиль та величин напружень текучості дозволяє зробити висновок, що результати експериментальних досліджень підтверджують адекватність створених математичних моделей.

Результати розрахунків по видавлюванню заготовок із міді МЗ. Залежності зусиль від переміщення пуансонів при видавлюванні з різним ступенем деформації ε зображені на рис. 9. Для всіх ступенів деформації зусилля зростає на неусталених стадіях до виходу металу з калібруючого пояска матриці. Далі починаються усталені стадії, на яких зусилля практично не змінюється для малих значень ε і дещо зменшується для великих величин ε .

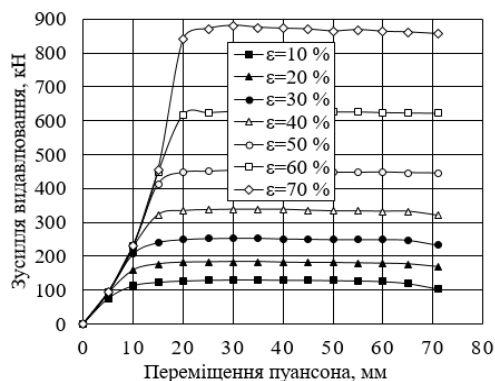


Рис. 9 – Залежності зусиль видавлювання від переміщення пуансонів при видавлюванні стержнів з міді МЗ з різним ступенем деформації ε

МСЕ дозволяє встановлювати точні розподіли нормальних напружень σ_n на контактуючих поверхнях при максимальному значенні зусилля

видавлювання, які зображені на рис. 10. На поверхні контакту між заготовкою і пуансоном напруження σ_n мають постійну величину для всіх розглянутих значень ступенів деформації. Зі зростанням величини ε напруження σ_n на торці пуансонів зростають. На поверхні контакту контейнера із заготовкою найбільші значення напружень σ_n виникають в зоні верхнього торця здеформованої заготовки, причому ці значення приблизно дорівнюють напруженням, які отримані на торці пуансона. На конусних поверхнях

матриць нормальні напруження мають максимальні значення на радіусах заокруглення цих поверхонь з калібруючими поясками. Далі по довжині конусних поверхонь напруження σ_n зменшуються до мінімуму на середині поверхонь, а потім збільшуються до кінця поверхонь. При цьому найменші величини напружень σ_n у вказаному місці отримані при видавлюванні із ступенем деформації $\varepsilon=30\%$.

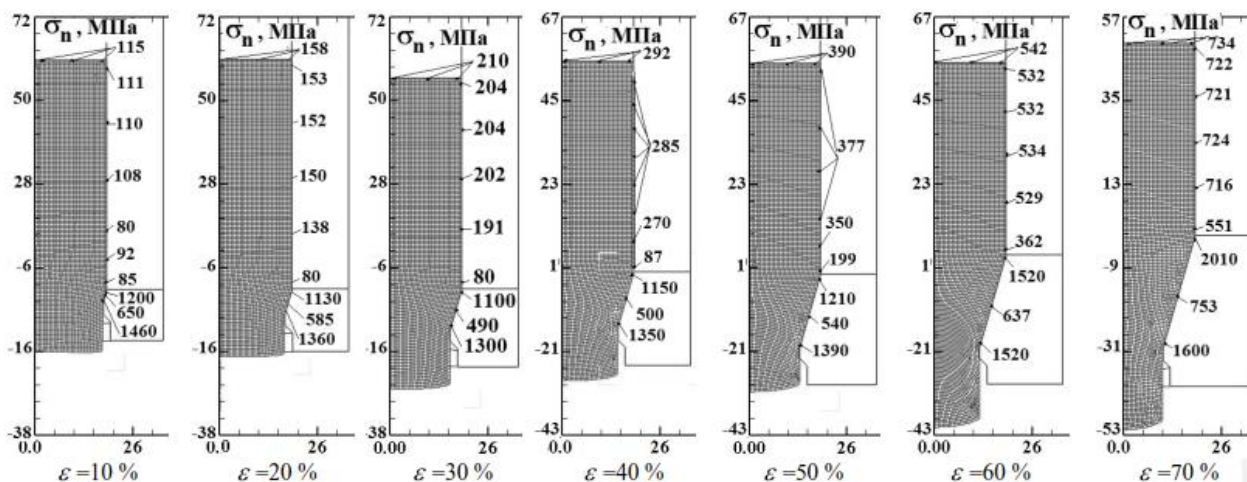


Рис. 10 – Розподіли нормальних напружень σ_n на контактуючих поверхнях між заготовкою і деформуючим інструментом

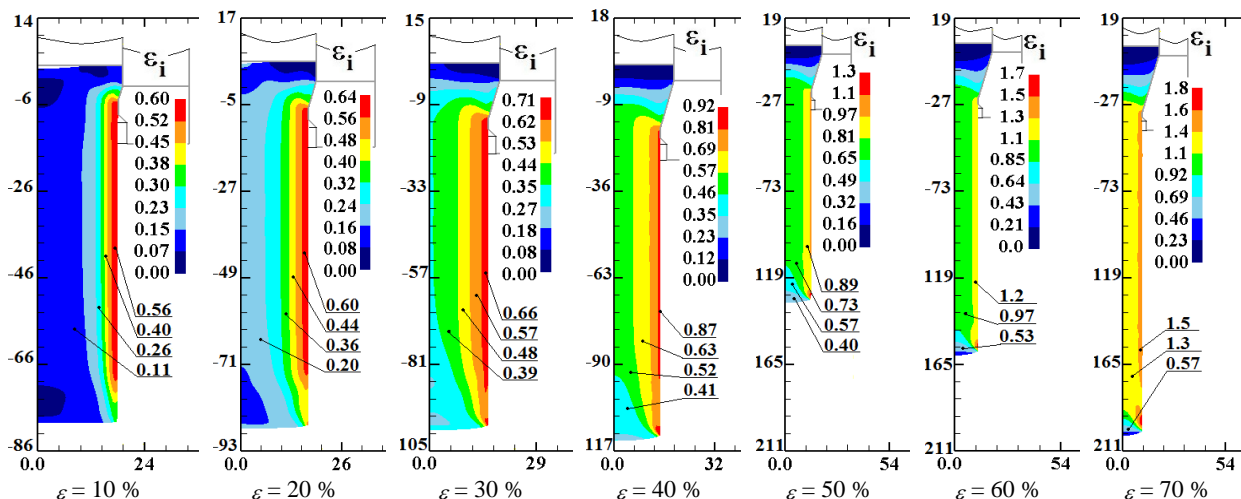


Рис. 11 – Розподіли інтенсивності деформацій ε_i у здеформованих заготовках після видавлювання з різним ступенем деформації ε

Моделюванням визначений напружено-деформований стан та розподіли інтенсивності деформацій ε_i при формоутворенні стержнів прямим видавлюванням. Розподіли інтенсивності деформацій приведені на рис. 11. Найбільші величини ε_i отримані у зовнішніх шарах металу здеформованих заготовок. Зі збільшенням величини ступеня деформації зростає інтенсивність пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією, причому зменшується

нерівномірність пропрацювання по перерізу заготовок. Після видавлювання з $\varepsilon=10\%$ на вісі здеформованої заготовки отримано $\varepsilon_i=0,07\div 0,15$; біля зовнішньої поверхні $\varepsilon_i=0,45\div 0,6$. Деформування з $\varepsilon=40\%$ та з $\varepsilon=70\%$ забезпечило відповідно наступні величини ε_i у вказаних місцях: $\varepsilon_i=0,46\div 0,57$ і $\varepsilon_i=0,69\div 0,92$ та $\varepsilon_i=1,1\div 1,4$ і $\varepsilon_i=1,4\div 1,6$. Встановлені величини інтенсивності деформацій з використанням експериментальної діаграми

істинних напружень для міді М3 ($\sigma_{0,2}=100$ МПа) дозволяють прогнозувати величини напруження текучості здеформованого металу по перерізу стержнів. В табл. 1 приведені дані по величинах напружень текучості здеформованого металу по перерізу стержнів, які отримані видавлюванням з різним ступенем деформації.

Таблиця 1 – Напруження текучості здеформованого металу

Ступінь деформації, ε , %	Місце визначення та величини напруження σ_s по перерізу стержнів		
	На вісі	Між віссю і зовнішньою поверхнею	Біля зовнішньої і поверхні
10	180 МПа	250 МПа	280 МПа
20	200 МПа	280 МПа	310 МПа
30	260 МПа	330 МПа	350 МПа
40	300 МПа	360 МПа	370 МПа
50	340 МПа	380 МПа	390 МПа
60	360 МПа	390 МПа	410 МПа
70	410 МПа	425 МПа	440 МПа

Висновки:

1. Моделюванням методом скінченних елементів показана можливість прогнозувати межу текучості здеформованого металу стержнів після холодного прямого видавлювання шляхом визначення інтенсивності деформацій та використання експериментальної діаграми істинних напружень матеріалу стержнів.

2. Для перевірки адекватності створених моделей проведені розрахунки та експериментальні дослідження холодного видавлювання круглих стержнів із сталі 45ХНМФА-Ш. Порівняння результатів досліджень по зусиллю видавлювання, межі текучості здеформованого металу показало можливість використання МСЕ для прогнозування механічних властивостей металу після холодного формоутворення.

3. Проведене моделювання холодного прямого видавлювання круглих стержнів із міді М3 із різним ступенем деформації. Встановлені залежності зусиль видавлювання від переміщення пуансонів, розподіли нормальних напружень на контактуючих поверхнях між металом і деформуючим інструментом та розподіли інтенсивності деформацій по об'єму здеформованих заготовок. З використанням діаграми істинних напружень встановлена межа текучості здеформованого металу по перерізу стержнів, які отримані видавлюванням.

Список літератури

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т.; т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
2. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унков, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др.; Под ред. Е.П. Ункова / Пер. с англ. А.Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
3. Черный Ю.Ф. Гидропрессование инструментальных сталей / Ю.Ф. Черный, В.З. Спусканюк, А.А. Лядская и др. – К: Техника, 1987. – 216 с.
4. Белошенко В.А. Теория и практика гидроэкструзии / В.А. Белошенко, В.Н. Варюхин, В.З. Спусканюк. – К: Наукова думка, 2007. – 246 с.
5. Калюжний В.Л. Визначення зусилля прямого холодного видавлювання з роздачею прямокутних профілів / В.Л. Калюжний, О.В. Калюжний В.М. Горностай // Обработка материалов давлением: Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2009 г. – №1 (20). – С. 23–27.
6. Калюжний В.Л. Створення високопродуктивних, ресурсозберігаючих технологій виготовлення холодним об'ємним штампуванням високоточних виробів з пластичних і малопластичних металів / В. Л. Калюжний // Вестник Машиностроение. – К: НТУУ «КПІ», 2010 г. – №60. – С. 19–25.
7. Калюжний В.Л. Прямое холодное выдавливание с раздачей профилей из сталей / В.Л. Калюжний, В.Н. Горностай, А.С. Запороженко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», 2012. – № 47 (953). – С. 110–115.
8. Кузьменко В.И. Влияние контактного трения на характер течения и силовой режим процесса прямого выдавливания с уширением / В.И. Кузьменко, В.Н. Горностай, В.О. Василенко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», 2013. – № 42 (1015). – С. 110–114.

References (transliterated)

1. Kovka y ob'emnaia shtampovka: Spravochnyk. V 4-kht. / Red. sovet: E.Y. Semenov (pred.) y dr. . – t.3. Kholodnaia ob'emnaia shtampovka / Pod red. H.A. Navrotskoho. – Moscow: Mashynostroenye, 1987. – 384 p.
2. Teoriya plasticheskikh deformatsiy metallov / E.P. Unkov, U. Dzhonson, V.L. Kolmogorov i dr.; Pod red. E.P. Unksova / Per. s angl. A.G. Ovchinnikova. – Moscow: Mashinostroenie, 1983. – 598 p.
3. Cherniy Yu.F. Gidropressovanie instrumentalnykh staley / Yu.F. Cherniy, V.Z. Spuskanyuk, A.A. Lyadskaya A.A. i dr. – Kyiv : Tehnika, 1987. – 216 p.
4. Beloshenko V.A. Teoriya i praktika gidroekstruzii / V.A. Beloshenko, V.N. Varyuhin, V.Z. Spuskanyuk. – Kyiv: Naukova dumka, 2007. – 246 p.
5. Kalyuzhniy V.L. Vznachennya zusyillya pryamogo holodnogo vydavlyuvannya z rozdacheyu pryamokutnykh profiliv // V.L. Kalyuzhniy, O.V. Kalyuzhniy V.M. Gornostay // Obrabotka materialov davleniem: Sbornik nauchnykh trudov. – Kramatorsk: DGMA, 2009 g. – No 1 (20). – P. 23–27.
6. Kalyuzhniy V.L. Stvorennya visokoproduktivnykh, resursozberigayuchih tehnologiy v igotovlennya holodnim ob'emnim shtampuvanniam visokotochnykh virobiv z plastichnykh i maloplastichnykh metaliv / V. L. Kalyuzhniy // Vestnik Mashinostroenie. – Kyiv: NTUU «KPI», 2010 g. – No 60. – P. 19–25.
7. Kalyuzhniy V.L. Pryamoe holodnoe vyidavlivanie s razdacheyu profiley iz staley / V.L. Kalyuzhniy, V.N. Gornostay, A.S. Zaporozhchenko // Visnik NTU «HP». Seriya: Novi rishennya u suchasnykh tehnologiyah. – Kharkiv: NTU «HP», 2012. – No 47 (953). – P. 110–115.
8. Kuzmenko V.I. Vliyanie kontaktnogo treniya na harakter techeniya i silovoy rezhim protsessa pryamogo vyidavlivaniya s ushireniem / V.I. Kuzmenko, V.N. Gornostay, V.O. Vasilenko // Visnik NTU «HP». SerIya: Novi rishennya u suchasnykh tehnologiyah. – Kharkiv: NTU «HP», 2013. – No 42 (101). – P. 110–114.

Поступила (received) 03.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Прогнозування механічних властивостей здеформованого металу при холодному прямому видавлюванні стержневих виробів по схемі «заготовка за заготовкою» / В.Л. Калюжний, А.М. Потятиник, І.П. Куліков, С.І. Унгурия // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів машинобудуванні та металургії. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 35 (1257). – С. 14–20. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671.

Прогнозирование механических свойств сформированного металла при холодном прямом выдавливании стержневых изделий по схеме «заготовка за заготовкой» / В.Л. Калюжний, А.М. Потятиник, И.П. Куликов, С.И. Унгурия // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів машинобудуванні та металургії. – Х. НТУ «ХПІ», 2017. – № 35 (1257). – С. 14–20. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2519-2671.

Prediction of the deformed metal mechanical properties by cold forward extrusion according core products to the scheme "workpiece behind the workpiece" / V.L. Kaluzhny, V.M. Potjatynek, I.P. Kulikov, S.I. Ungurjan // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 35 (1257). – P. 14–20. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2519-2671.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калюжний Володимир Леонідович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», професор кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Калюжний Владимир Леонидович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», профессор кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Kaluzhnyi Vladimir Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Professor of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (098) 273-44-19; e-mail: kwl_2011@ukr.net.

Потятиник Андрій Миколайович – аспірант кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»; тел.: (067) 337-10-08; e-mail: Qdx@ukr.net.

Потятиник Андрей Николаевич – аспирант кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»; тел.: (067) 337-10-08; Qdx@ukr.net.

Potjatynek Andrei Nikolaevich – fellow of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky"; tel.: (067) 337-10-08; e-mail: Qdx@ukr.net.

Куліков Іван Петрович – аспірант кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»; тел.: (067) 337-10-08; e-mail: iv8h@gmail.com.

Куликов Иван Петрович – аспирант кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»; тел.: (067) 337-10-08; iv8h@gmail.com

Kulikov Ivan Petrovich – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", postgraduate student of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (067) 337-10-08; e-mail: iv8h@gmail.com.

Унгурия Сергій Ілліч – магістрант кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»; тел.: (063) 754-79-99; e-mail: ungurjan23@gmail.com.

Унгурия Сергей Ильич – магистрант кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»; тел.: (063) 754-79-99; ungurjan23@gmail.com/

Ungurjan Sergei Ilich – National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", postgraduate student of the Department of Mechanics of the Materials Plasticity and Resource Processes; tel.: (063) 754-79-99; e-mail: ungurjan23@gmail.com.