

УДК 621.777.4

В. М. ГОРНОСТАЙ; С. Ф. САБОЛ, А. М. ПОТЯТИНИК

ТЕПЛОВИЙ ЕФЕКТ ПРИ ХОЛОДНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ

Розглянуто тепловий ефект при холодному видавлюванні порожнистих виробів та його вплив на температуру робочого інструменту. Проведено чисельні експерименти з використанням методу скінчених елементів в програмному комплексі DEFORM 3D, що дозволило визначити залежність зміни температури заготовки, робочого інструменту від ступеня деформування. Визначено залежність зусилля виймання пуансону та виштовхування. Для експериментального дослідження було спроектовано та виготовлено технологічне оснащення. Представлено результати експериментального визначення залежності зміни температури робочого інструменту при холодному видавлюванні порожнистих виробів.

Ключові слова: холодне видавлювання; тепловий ефект, температура на робочому інструменті, розподіл температури по об'єму заготовки, зусилля виймання пуансону, зусилля виштовхування.

Рассмотрен тепловой эффект при холодном выдавливании полых изделий и его влияние на температуру рабочего инструмента. Проведены численные эксперименты с использованием метода конечных элементов в программном комплексе DEFORM 3d, что позволило определить зависимость изменения температуры заготовки, рабочего инструмента от степени деформации. Определено усилие извлечения пуансона из заготовки и выталкивания. Для экспериментальных исследований было спроектирована и изготовлена технологическая оснастка. Построены экспериментальные зависимости изменения температуры рабочего инструмента при холодном выдавливании полых деталей.

Ключевые слова: холодное выдавливание, тепловой эффект, температура деформирующего инструмента, распределение температуры по объёму заготовки, усилие извлечения пуансона, усилие выталкивания.

Processes cold die forging have several advantages, which allow for high-quality products with high material use 97%, and in some cases up to 100%. But these processes are characterized by significant specific stress on deforming tool and heat as a result of plastic deformation. If specific stress acting on the tool in many research works, the data related to the definition of thermal effects in the process of cold die forging and its influence on deforming tool and directly determine the temperature distribution in the volume of blanks available. Therefore, the results of theoretical and experimental studies to determine the thermal effect and its impact on deforming tools presented in this paper are relevant. Numerical experiments using a finite element software complex DEFORM 3D, allowing to fully explore the process of reverse hollow extrusion products ranging from extrusion cavity and ending pushing blank matrix. Theoretical by the temperature distribution in the volume of blanks and experimentally determined maximum temperature of the workpiece and punch temperature dependence of the number of transactions. Reviewed by thermal effect of cold extrusion of hollow articles and its influence on the temperature of the working tool. Numerical experiments have been conducted using the finite element method in the program complex DEFORM 3d, which allowed to determine the dependence of the temperature change of the tool from the workpiece deformation degree. Determined effort to plug retrieval of workpiece and push. For pilot studies were designed and manufactured tooling. Built the experimental dependence of temperature change a working tool in cold extrusion of hollow parts.

Keywords: cold extrusion, thermal effect, the temperature of the deforming tool distribution volume preform temperature, extraction force of the punch, ejection force.

Вступ. Процеси холодного об'ємного штампування мають ряд переваг [1–2], що дозволяють отримувати високоякісні вироби з високим коефіцієнтом використання матеріалу 97%, а в деяких випадках і до 100%. Але ці процеси характеризуються значними питомими напруженнями на деформуючому інструменті та виділенням тепла в результаті пластичного деформування. Якщо питомі напруження, що діють на інструменті дослідженні в багатьох роботах, то данні пов'язані з визначенням теплового ефекту в процесах холодного об'ємного штампування та його впливу на деформуючий інструмент та безпосередньо визначенню розподілу температури в об'ємі заготовки відсутні. Тому результати теоретичних та експериментальних досліджень по визначенню теплового ефекту та його впливу на деформуючий інструмент наведені в даній роботі є актуальними.

Постановка задачі. На рис. 1 показано ескіз деталі (в силу симетрії виробу наведено половину деталі) для якої необхідно отримати заготовку холодним зворотнім видавлюванням та визначити розподіл температури по об'єму заготовки. Схема процесу видавлювання зображено на рис. 2а. Ліворуч

від осі показано у вихідному стані, а праворуч – кінцевому. Заготовка 2 встановлюється в контейнер 1. В донній частині контейнера встановлений виштовхувач 4. Видавлювання заготовки виконується пуансоном 3. Вихідні розміри заготовки визначали з умови постійності об'ємів. Дана заготовка, вихідні розміри якої зведені в табл. 1, виготовляється із сталі 15 з наступними властивостями: модуль Юнга $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3, умовна межа течії $\sigma_{0,2} = 230$ МПа. Задача вирішується в пружно-пластичній постановці. Початкова температура заготовки та робочого інструменту задається 20°C .

Таблиця 1 – Розміри кінцевого виробу

$\varepsilon, \%$	$D_n, \text{мм}$	$D_3, \text{мм}$	$H_3, \text{мм}$	$\alpha, \text{град}$	H, мм
10	19	60	50	7	55
20	27				60
30	33				66,8
40	38				75,8
50	42				86,8
60	46				103,9

Чисельним моделюванням, за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ) в програмному

комплексі DEFORM-3D проведено теоретичний аналіз процесу холодного видавлювання заготовки діаметром $D_3 = 60$ мм та висотою $H_3 = 50$ мм з різною ступеню деформації. Моделювання виконували в пружно-пластичній постановці з врахуванням розвантаження. Теоретичний аналіз МСЕ дозволяє встановити напружено-деформований стан в об'ємі заготовки, кінцеві розміри виробу з урахуванням пружної деформації, а також отримати розподіл нормальних напружень на контактуючих поверхнях заготовки з інструментом, що дозволяє розраховувати інструмент на міцність та визначити

розподіл температури по об'єму заготовки. Процес моделювався с вихідного стану заготовки (рис. 2а ліва частина) далі видавлювалась порожнина з урахуванням температури, швидкість переміщення пуансона складала 2 мм/с, що відповідає гідравлічному пресу ДБ 2432, коефіцієнт тертя $\mu = 0,08$. Другим етапом (рис. 2б) моделювалося виймання пуансона з заготовки з урахуванням температури та на третьому етапі (рис. 2в) моделювалося виштовхування заготовки та визначався розподіл температури по об'єму заготовки.

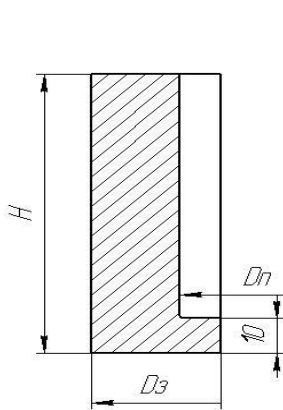


Рис. 1 – Ескіз деталі

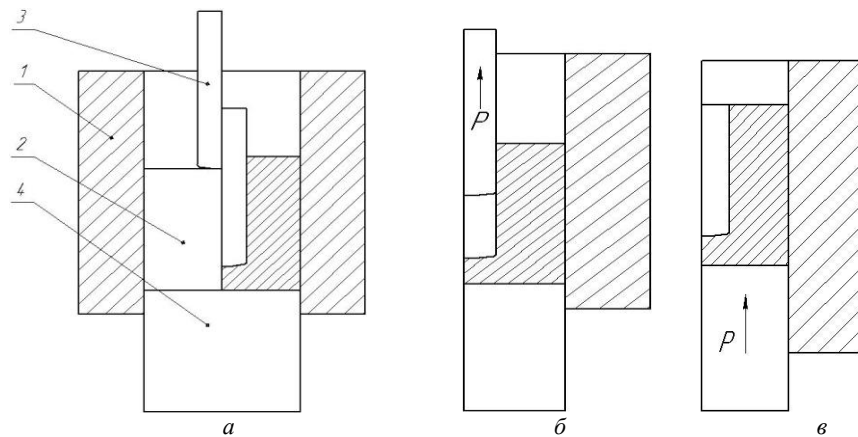


Рис. 2 – Етапи холодного зворотного видавлювання порожнистого виробу: а – видавлювання, б – виймання пуансона, в – виштовхування заготовки

Результати чисельних експериментів.

В результаті чисельних експериментів було отримані залежності зусилля (рис. 3) видавлювання, виймання пуансону та виштовхування заготовки з матриці. Максимальне зусилля видавлювання склало 420 кН при деформуванні з ступенем деформації 60%. Треба сказати що максимальне зусилля виймання пуансону складає 10% від зусилля видавлювання. При

виштовхування заготовки з матриці максимальне зусилля виштовхування спостерігається при мінімальному ступені деформуванні $\varepsilon = 10\%$ та склало 22 кН що складає 30% від зусилля видавлювання, але при збільшенні ступеня деформації зусилля виштовхування зменшується та складає 5% від зусилля видавлювання. При $\varepsilon = 60\%$ зусилля виштовхування склало 18 кН.

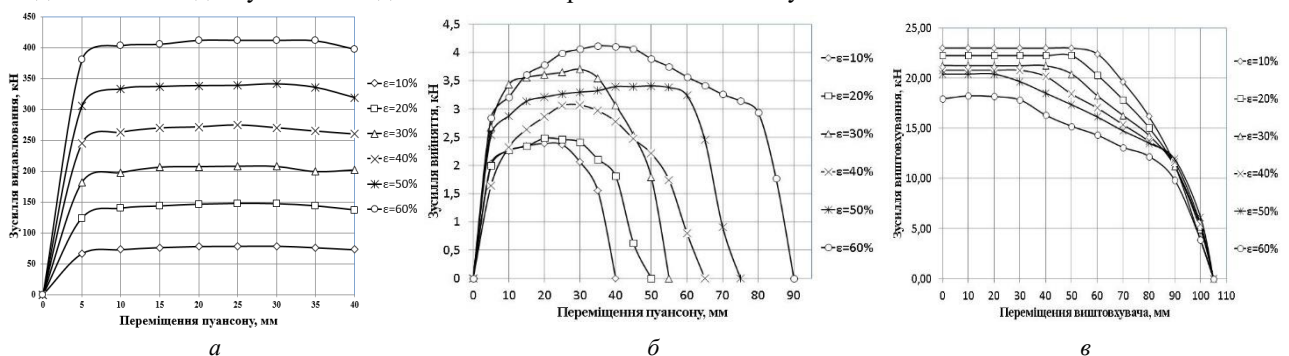


Рис. 3 – Залежності зусилля: а – видавлювання, б – виймання пуансону та в – виштовхування заготовки

На рис. 4 приведені розподіли інтенсивності напружень σ_i по об'єму здеформованої заготовки. По розподілу σ_i в об'ємі заготовки ми маємо можливість

оцінити зміцнення матеріалу за рахунок холодної пластичної деформації. Максимальні значення

складають 740 МПа у донній частини заготовки, у стінці максимальне значення складає 400 МПа.

Розподіли інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму здеформованої заготовки представлено на рис. 5.

Розподіл ϵ_i характеризує пропрацювання структури матеріалу

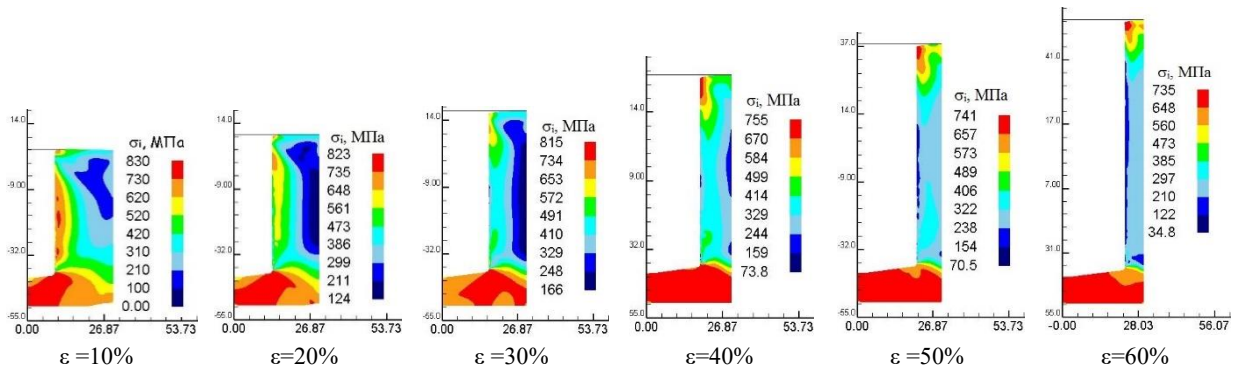


Рис. 4 – Розподіл інтенсивності напружень σ_i по об'єму заготовки

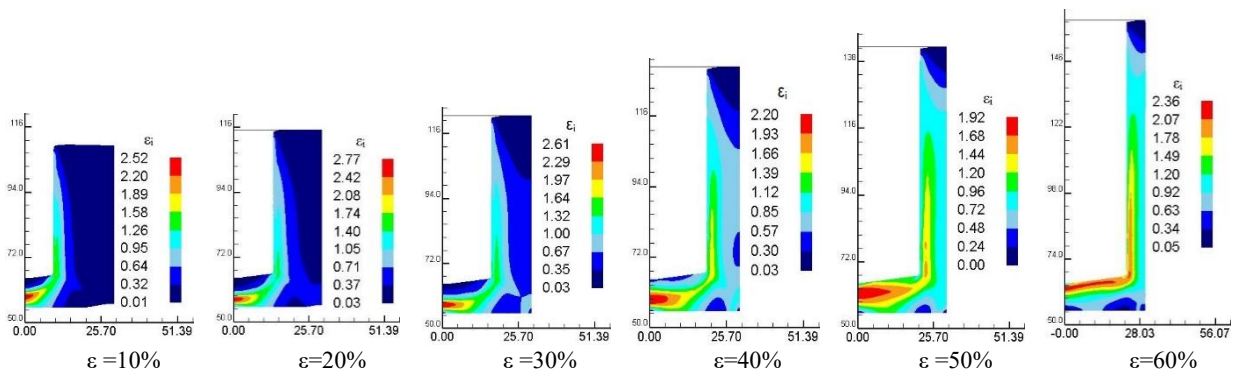


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму заготовки

Аналізуючи цей розподіл треба сказати що збільшення ступеня деформації дозволяє більш рівномірно пропрацювати як стінку заготовки так і донну частину, в той час як при малих ступенях деформації пропрацюються тільки внутрішні шари порожнини.

На рис. 6 показано розподіл використання ресурсу пластичності по об'єму заготовки. Треба

відмітити що при деформуванні з даними ступенями деформації руйнування матеріалу не спостерігається. Максимальне значення спостерігається на внутрішньому торці стінки заготовки. Це підтверджує можливість формоутворення виробу без руйнування.

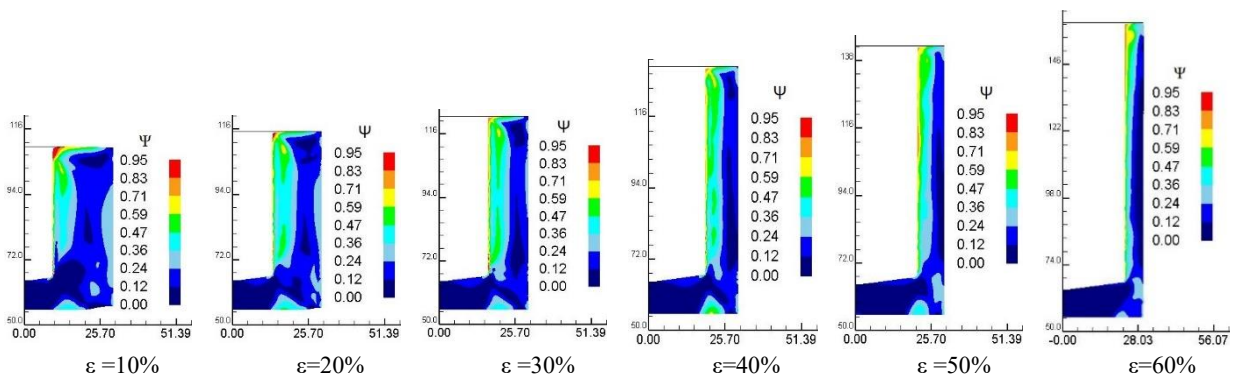


Рис. 6 – Розподіл використання ресурсу пластичності ψ по об'єму заготовки

На рис. 7 приведено розподіли температури по об'єму заготовки. З якого видно що збільшення ступеня деформації призводить до більш інтенсивного виділення тепла як під пуансоном так і в стінці виробу. Максимальна температура розігріву

заготовки складає 400°C. Осередок інтенсивного розігріву спостерігається в зовнішній донній частині заготовки що пояснюється значними напруженнями зсуву між недеформуємою частиною заготовки та зоною інтенсивної течії матеріалу в стінку заготовки.

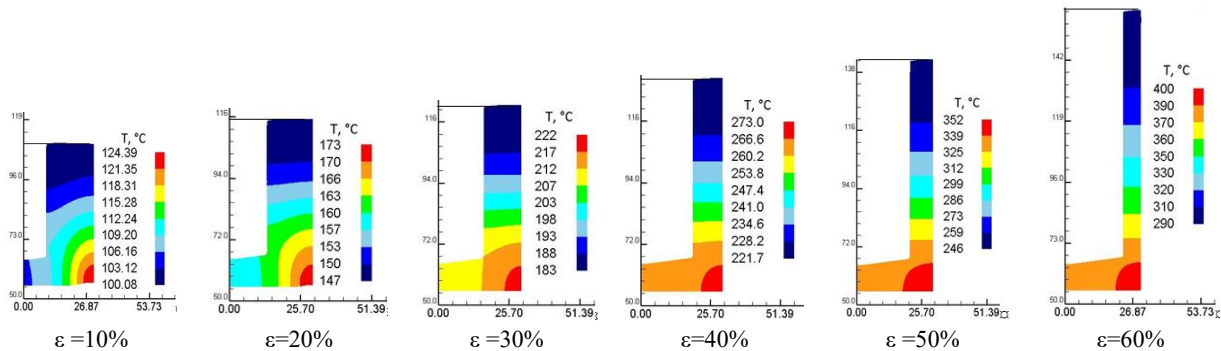


Рис. 7 – Розподіл температури по об'єму заготовки

По отриманим результатам було спроектовано конструкцію штампного оснащення для проведення експериментальних досліджень. Схема штампа представлена на рис. 8. Бандажована матриця 1 встановлюється на підкладну плиту 3. Підкладна плита 3 встановлюється на опорну плиту 5. Матриця 1 кріпиться до підкладної плити за допомогою фіксуючого кільця 4, що фіксується до опорної плити гвинтами 26. Опорна плита фіксується до нижньої плити штампу 12 за допомогою гвинтів 28. В отворі опорної плити розташована підкладна плита 6, на якій встановлений виштовхувач 2. Пуансон 7 встановлюється на підкладну плиту 11 за допомогою направляючого кільця 9, що фіксується до верхньої плити за допомогою фіксуючого кільця 8, що кріпиться гвинтами 24 до набірною кільця 10, що в свою чергу кріпиться до верхньої плити 13 за допомогою гвинтів 23.

Для направлення руху верхньої плити 13 відносно нижньої плити 12 передбачені направляючі колонки 19, 20 та направляючі втулки 21, 22. Направляючі колонки 19, 20 запресовані у нижню плиту 12, а направляючі втулки 21, 22 – у верхню плиту 13.

Для виймання готового виробу із матриці передбачено тяговий механізм, що знаходиться у

нижній половині штампу. В отворі підкладної плити 18 розташоване коромисло 16, яке при ході верхньої плити 13 вгору за допомогою тяги 17 передає рух вгору через привід виштовхувача 15, що ходить в направляючій втулці 14 і передає рух на підкладну плиту 6.

У верхньому положенні повзуна пресу пуансон 7 знаходиться у крайньому верхньому положенні над робочою зоною. В робочу зону подається заготовка, здійснюється робочий хід і відбувається видавлювання заготовки. Хід повзуна завершується в його верхньому положенні. Деталь видаляється за допомогою виштовхувального механізму і відбувається під час ходу повзуна вгору.

Залежність температури заготовки від ступеня деформації представлено на рис. 9а. З якої видно що при збільшенні ступеня деформації збільшується температура виробу. Експериментальне максимальне значення температури виробу ($\epsilon = 55\%$) визначалася після штампування 200 штук за допомогою пірометра FLUS «IR-828» та склала 430°C в зовнішній донній частині виробу. Експериментальна залежність розігріву пуансону показано на рис. 9б. Максимальна температура пуансону склала 200°C після штампування 500 штук заготовок. Це призводить до температурного розширення та збільшення розміру порожнини що отримується.

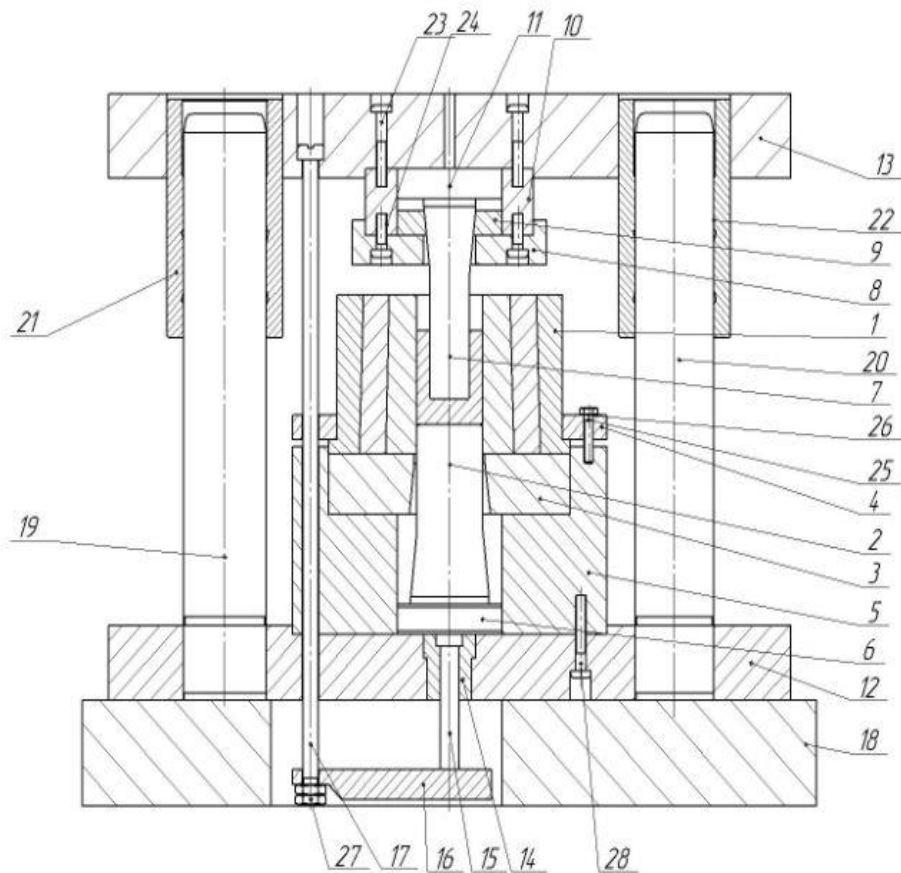
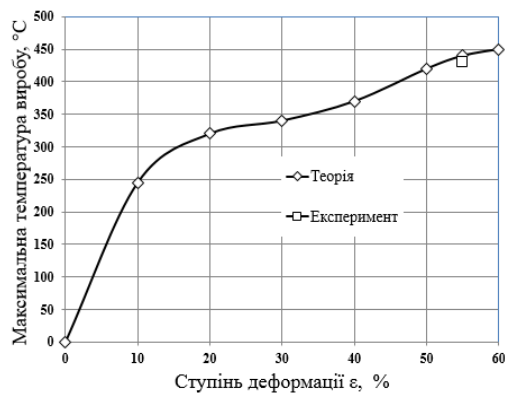


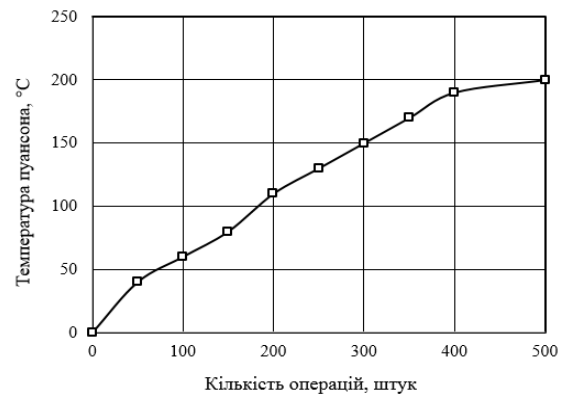
Рис. 8 – Схема штампу для холодного зворотнього видавлювання порожнистих виробів

Рекомендується після отримання 200–250 штук виробів проводити перерву для охолодження робочого інструменту, або використовувати

примусове охолодження. При малих ступенях деформування кількість операцій може бути збільшена в 2 рази.



а



б

Рис. 9 – Залежності температури кінцевого виробу: а – від ступеня деформації та б – температури пуансона від кількості операцій

Висновки:

1. Проведено чисельні експерименти з використанням методу скінченних елементів в програмному комплексі DEFORM 3D, що дозволило

всебічно дослідити процес зворотнього видавлювання порожнистих виробів починаючи з видавлювання порожнини і закінчуючи виштовхуванням заготовки матриці.

2. Визначено теоретичним шляхом розподіл температури в об'ємі заготовки та експериментально визначено максимальну температуру заготовки і залежність температури пуансону від кількості операцій.

Список літератури

1. Холодная объемная штамповка. Справочник. / Под ред. Г.А. Навроцкого. – Москва. Машиностроение, 1973, – 496 с.
2. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х т.; т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. – Москва: Машиностроение, 1987. – 384 с.
3. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин // 2-е изд. – Москва: Металлургия, 1973 – 224 с.
4. Deform-3D – мощная система моделирования технологических процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.thesis.com.ru/software/deform>.

References (transliterated)

1. *Holodnaya ob'emnaya shtampovka*. Spravochnik. / Pod red. G.A. Navrotskogo. [Cold volume stamping]. Moscow, Mashinostroenie, Publ., 1973. – 496 p.
2. *Kovka i shtampovka*. Spravochnik. Vol. 3. Holodnaya ob'emnaya shtampovka / Pod red. G.A. Navrotskogo [Forging and Stamping]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. – 384 p.
3. Tretyakov A.V. *Mekhanicheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke davleniem* [The mechanical properties of metals and alloys by pressure treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973 – 224 p.
4. Deform-3D – moschnaya sistema modelirovaniya tehnologicheskikh protsessov [Elektronnyiy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.thesis.com.ru/software/deform>

Надійшла (received) 10.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Тепловий ефект при холодному видавлюванні порожнистих виробів / В. М. Горностай, С. Ф. Сабол, А. М. Потятиник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 26–31. – Бібліогр.: 4 назви. – ISSN 2519-2671

Тепловой эффект при холодном выдавливании полых изделий / В. Н. Горностай, С. Ф. Сабол, А. Н. Потятиник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 26–31. – Бібліогр.: 4 назви. – ISSN 2519-2671

Thermal effect of cold extrusion of hollow articles / V. M. Hornostai, S. F. Sabol, A. M. Potiatynyk // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 30 (1202). – P. 26–31. – Bibliogr.: 4 – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Горностай Вадим Миколайович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (050) 5358653; e-mail: w.gornostay@kpi.ua

Горностай Вадим Николаевич – кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел.: (050) 5358653; e-mail: w.gornostay@kpi.ua

Hornostai Vadym Mykolaiovych – candidate of technical sciences, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Associate Professor of the Department of Mechanics of plasticity of materials and resource saving processes; tel.: (050) 5358653; e-mail: w.gornostay@kpi.ua

Сабол Сергій Францевич – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; тел.: (050) 7193026; e-mail: s.sabol@kpi.ua

Сабол Сергей Францевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов; тел.: (050) 7193026; e-mail: s.sabol@kpi.ua

Sabol Serhii Frantsevych – candidate of technical sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", Associate Professor of the Department of Mechanics of plasticity of materials and resource saving processes; tel.: (050) 7193026; e-mail: s.sabol@kpi.ua

Потятиник Андрій Миколайович – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», тел.: (095) 3671932

Потятиник Андрей Николаевич – аспірант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», тел.: (095) 3671932

Potiatynyk Andrii Mykolaiovych – fellow, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute named Igor Sikorsky", tel.: (095) 3671932