

Список литературы: 1. Гудков В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев; ред. В.А. Гудкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 488 с. 2. Дмитриев М.М. Усовершенствование системы управления пассажирским транспортом общего пользования г. Кременчуг / М.М. Дмитриев, Н.Н. Мороз // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. – 2012. – № 6 (177) – С. 114-118. 3. Сборник законодательных и нормативных документов, которые регламентируют деятельность предприятий автомобильного транспорта всех форм собственности, Вып. 2. – К.: Юмана, 1998. – 528 с.

Bibliography (transliterated): 1. Gudkov V.A., Mirotin L.B., Vel'mogin A.V., Shiriaev S.A. «Passagirskie avtomobil'nie perevozki: Uchebnik dlia vuzov» Ed V.A. Gudkov. Moscow: Goriachaia linia, Telecom, 2006. Print. 2. Dmitriev M.M., Moroz M.M. «Usovershenstvovanie sistemi upravleniia passagirskim transportom obchego pol'zovania Kremenchug». Vestnik Vostochnoukrainskogo nacional'nogo universiteta. No 6 (177). 2012. 114–118 Print. 3. Sbornic zakonodatel'nih and normativnih dokumentov, kotorie reglamentiruiut deiatel'nost' predpriati avtomobil'nogo transporta vseh form sobstvennosti, Vol. 2. Kiev: Umana. 1998. Print.

Поступила (received) 31.10.2014

УДК 621. 9. 048. 4

В. І. НОСУЛЕНКО, докт. техн. наук, проф., КНТУ;

В. М. ШМЕЛЬОВ, канд. техн. наук, КНТУ, Кіровоград

ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНА ОБРОБКА ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ЯК НОВІ МОЖЛИВОСТІ І ВИСОКОЕФЕКТИВНА АЛЬТЕРНАТИВА ТРАДИЦІЙНИМ ТЕХНОЛОГІЯМ

Проаналізовано методи виготовлення листових деталей різними методами обробки. Визначено область раціонального застосування різних методів обробки листових деталей. Отримано узагальнений графік собівартості отримання фасонних листових деталей. Розроблено схему вибору оптимального способу виконання розділових операцій листових деталей. Зроблено висновки про доцільність застосування електророзрядної обробки для виготовлення листових деталей як вискоефективної альтернативи традиційним технологіям.

Ключові слова: електророзрядна обробка, електроерозійна обробка, повітряно-плазмове різання, розмірна обробка електричною дугою, листові деталі.

Вступ. Процеси електророзрядної обробки (ЕРО), що засновані на використанні перетвореної в тепло енергії різноманітних електричних дугових розрядів, включають традиційну електроерозійну обробку (ЕЕО) нестационарними електричними розрядами, розмірну обробку стаціонарною електричною дугою (РОД) і плазмове різання (ПР). В сукупності зазначені процеси забезпечують нирокі технологічні можливості, а порівняно з процесами обробки різанням і тиском забезпечують ряд суттєвих переваг. В зв'язку з цим покажемо, що оптимально поєднуючи специфічні, часто унікальні технологічні можливості кожного з вказаних способів ЕРО, є можливість з одного боку, здійснити всю різноманітність розділових операцій при виготовленні листових деталей будь-яких форм і розмірів (чого, до речі, не

забезпечують традиційші способи обробки тиском і різанням), а, з іншого боку, вже сьогодні в умовах одиничного, дрібносерійного і середньосерійного виробництва способи ЕРО забезпечують вищу економічну ефективність порівняно з традиційними технологіями. Тому процеси ЕРО – це нові можливості і високоефективна альтернатива традиційним технологіям.

Мета досліджень, постановка задач Листові деталі в машинобудуванні складають близько 70%. Їх отримують із застосуванням різноманітних розділових операцій, таких як різка, вирубка і пробивка, які здійснюють звичайно штампуванням і рідко – механічною обробкою. В той же час кожна з цих операцій може бути високоефективно здійснена застосуванням одного із способів ЕРО. Тому виникає необхідність економічного обґрунтування найбільш ефективного варіанту технологічного процесу виготовлення таких деталей і, в кінцевому підсумку, визначення сфер раціонального застосування кожного із зазначених способів.

Аналіз основних досліджень і літератури. ЕЕО дозволяє ефективно обробляти малі, діаметром до декількох сотих міліметра, отвори практично в будь-яких сталях і багатьох важкооброблюваних сплавах. Так, наприклад, отвір діаметром 0,04 мм може бути прошито на глибину 0,6...0,7 мм. Все ширше використовують групову прошивку отворів наборами електродів. Так прошивають до 8000...10000 отворів одночасно в деталях фільтрів і теплообмінників, виготовляють сита з нержавіючої сталі. Наприклад, 2000 отворів діаметром 0,8 мм в листі з нержавіючої сталі завтовшки 1,5 мм прошивають за 25 хв. Прорізають і прошивають пази і вузькі щілини шириною 0,05...0,5 мм в деталях основного виробництва, фрезерування яких або штампування звичайними способами ускладнене або неможливе. Щілини шириною 0,15...0,3 мм прошивають на глибину до 3...5 мм. ЕЕО можна отримувати гравюри з покращеним виглядом і підвищеною глибиною рельєфу. По суті, це унікальні технології, нездійсненні іншими способами металообробки. Але цим, власне, і обмежується сфера раціонального застосування ЕЕО листових деталей.

Повітряно-плазмове різання (ППР) дозволяє отримувати середні і крупні деталі складних зовнішнього і внутрішнього контурів із сталевих листового прокату завтовшки 5...60 мм при оптимізації розкрою і повної автоматизації процесу. На підприємствах сільськогосподарського машинобудування вже зараз в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва з використанням ППР отримують тисячі найменувань деталей зі сталевих листових прокатів.

Проте ППР не дозволяє отримати деталі зовнішнього і внутрішнього фасонних контурів, перш за все габаритами приблизно до 100 мм з дрібними

елементами при підвищених вимогах по якості і точності обробки. Товстолистові деталі, отримані ППР, мають дещо оплавлену і неперпендикулярну площині деталі поверхню різку. Суттєвий недолік – порівняно велика, до 1 мм, зона термічного впливу при обробці вуглецевих сталей, що ускладнює подальшу механічну обробку. Тому деталь в цьому випадку підлягає відпалу. При різанні металу товщиною до 2 мм термічні напруження приводять до викривлення деталей. Вузькі щілини шириною менше товщини листа, дрібні прямокутні і квадратні отвори в товстолистовому металі є проблемою. ППР ускладнено отримати контури розмірами в плані менше 50 мм і отвори з гострими кутами.

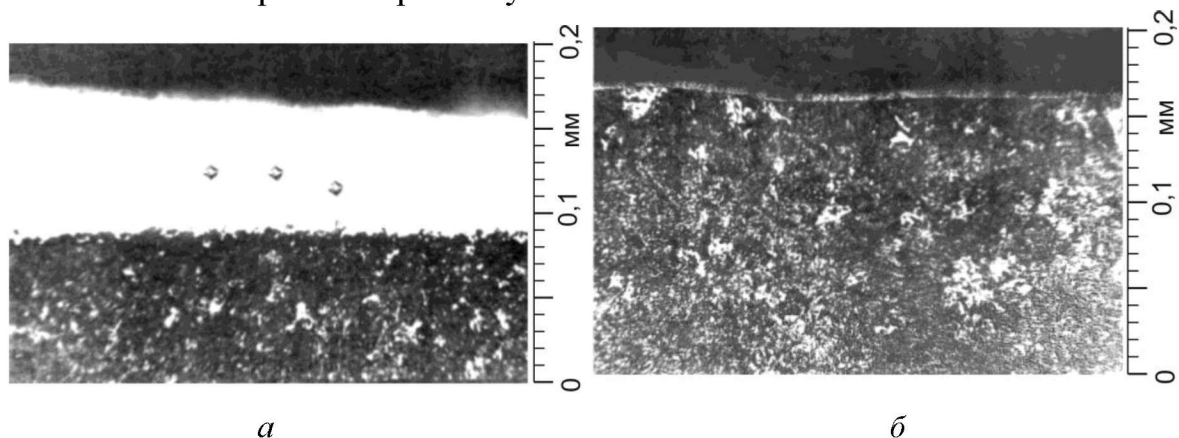


Рис. 1 – Мікроструктури поверхні загартованих зразків зі сталі У8 після РОД: а – керована зона термічного впливу та б – зона термічного впливу відсутня

РОД набуває все більш широкого застосування для найрізноманітніших технологій, і, зокрема, для виконання розділових операцій при виготовленні листових деталей, у тому числі і для вказаних вище робіт, які не можна здійснити ППР, виконуючи їх при цьому з високою продуктивністю і якістю. Стосується це перш за все отримання внутрішніх і зовнішніх контурів фасонних листових деталей з габаритами в плані приблизно до 100 мм при зоні термічного впливу, яка є керованою (рис. 1, а) і, при необхідності, може бути практично відсутня (рис. 1, б); при шорсткості обробленої поверхні в межах $Ra\ 6,3$ і менше та при точності обробки, що відповідає звичайній точності інструментальних робіт, тобто в межах сотих часток міліметра [1].

Необхідна точність обробки забезпечується малим міжелектродним зазором (який коливається в межах $0,05...0,15$ мм) і точним виготовленням профільованого електроду-інструменту (ЕІ), виконавчі розміри якого для внутрішніх контурів (отворів) і зовнішніх контурів (стержнів) визначають за формулами [2]:

– чистова обробка

$$B_o = (A + 0,7\Delta_B - 2\delta_2)^{+0,3\Delta_B}, \quad (1)$$

$$B_c = (A - 0,7\Delta_n + 2\delta_2)^{-0,3\Delta_n}, \quad (2)$$

– чорнова обробка

$$B_o \leq [A + 0,7\Delta_b - 2(\delta_1 + z_{\min})]^{+0,3\Delta_b}, \quad (3)$$

$$B_c \geq [A - 0,7\Delta_b + 2(\delta_1 + z_{\min})]^{-0,3\Delta_n}, \quad (4)$$

де A – номінальний розмір деталі;

δ_1 і δ_2 – міжелектродні зазори, відповідно при чорновій і чистовій обробці;

$z_{\min}$ – мінімальний припуск на обробку;

Δ_b і Δ_n – верхнє і нижнє відхилення поля допуску деталі.



Рис. 2 – Робоча зона верстата «Дуга-8» при обробці пакета деталей

Технологічні схеми формоутворення РОД дозволяють реалізувати всі необхідні умови високопродуктивної обробки – багатоелектродну прошивку, обробку пакетом (рис. 2), виконання операцій за принципом послідовної і суміщеної дії та ін. Все це, а також відповідний вибір режимів обробки, дозволяють досягти оптимальної, практично доцільної продуктивності і якості обробки.

Підводячи деякі підсумки, зазначимо, що процеси ЕРО не тільки забезпечують виконання всієї різноманітності розділових операцій при виготовленні листових деталей, здійснюваних традиційними технологіями, але і забезпечують нові технологічні можливості. Залишається лише встановити області практичного застосування ЕРО.

При виборі способу обробки для виконання заданої маршрутним технологічним процесом операції повинні бути необхідні і достатні умови, які визначаються показниками якості деталі, частіше всього необхідною точністю обробки деталі, що виготовляється, та якістю її поверхні. Достатні умови характеризуються техніко-економічними показниками операційного технологічного процесу в цілому і, перш за все, продуктивністю та економічністю (технологічною собівартістю) виконання операції, а також

технологічною надійністю операції. В якості достатніх умов широко використовуються такі показники як стійкість інструменту, енергоємність і маловідхідність операції, а також гнучкість, тобто можливість переналагодження на інший типорозмір деталі.

Результати досліджень. Отже, область раціонального застосування способу обробки визначається економічними розрахунками. Основним критерієм є собівартість отриманої продукції. Нами розроблено узагальнену методику, яка дозволяє визначити собівартість деталей, що виготовляються із застосуванням розділових операцій [3]. В електронну таблицю Excel закладають основні вихідні дані про деталь (габарити, довжина контуру, товщина, матеріал, штучний час і т. і.) і отримують калькуляцію статей витрат технологічної собівартості деталі за можливими способами виконання розділових операцій. Економічна ефективність технологічних процесів неподільно пов'язана із серійністю та конкретними умовами даного виробництва, а отже є не лише технологічним, але й організаційно-технологічним поняттям. Тому як при виборі оптимального варіанту конкретного технологічного процесу, так і при визначенні областей раціонального застосування кожного із вказаних способів слід враховувати всю різноманітність факторів, які суттєво впливають на технологічну собівартість. Звичайно в кожному конкретному випадку доцільно провести окремий розрахунок.

Виходячи з отриманих нами результатів, можна рекомендувати спосіб РОД для отримання в серійному виробництві дрібних деталей з фасонним внутрішнім чи зовнішнім контуром як товстолистових, так і тонколистових, з точністю по дванадцятому – чотирнадцятому квалітету, тобто звичайною точністю штампованих деталей.

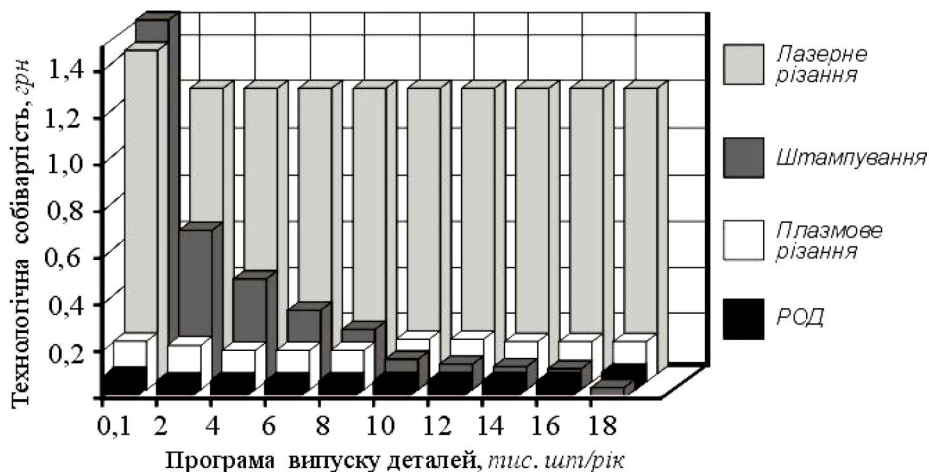


Рис. 3 – Узагальнений графік собівартості отримання фасонних листових деталей габаритом до 100 мм

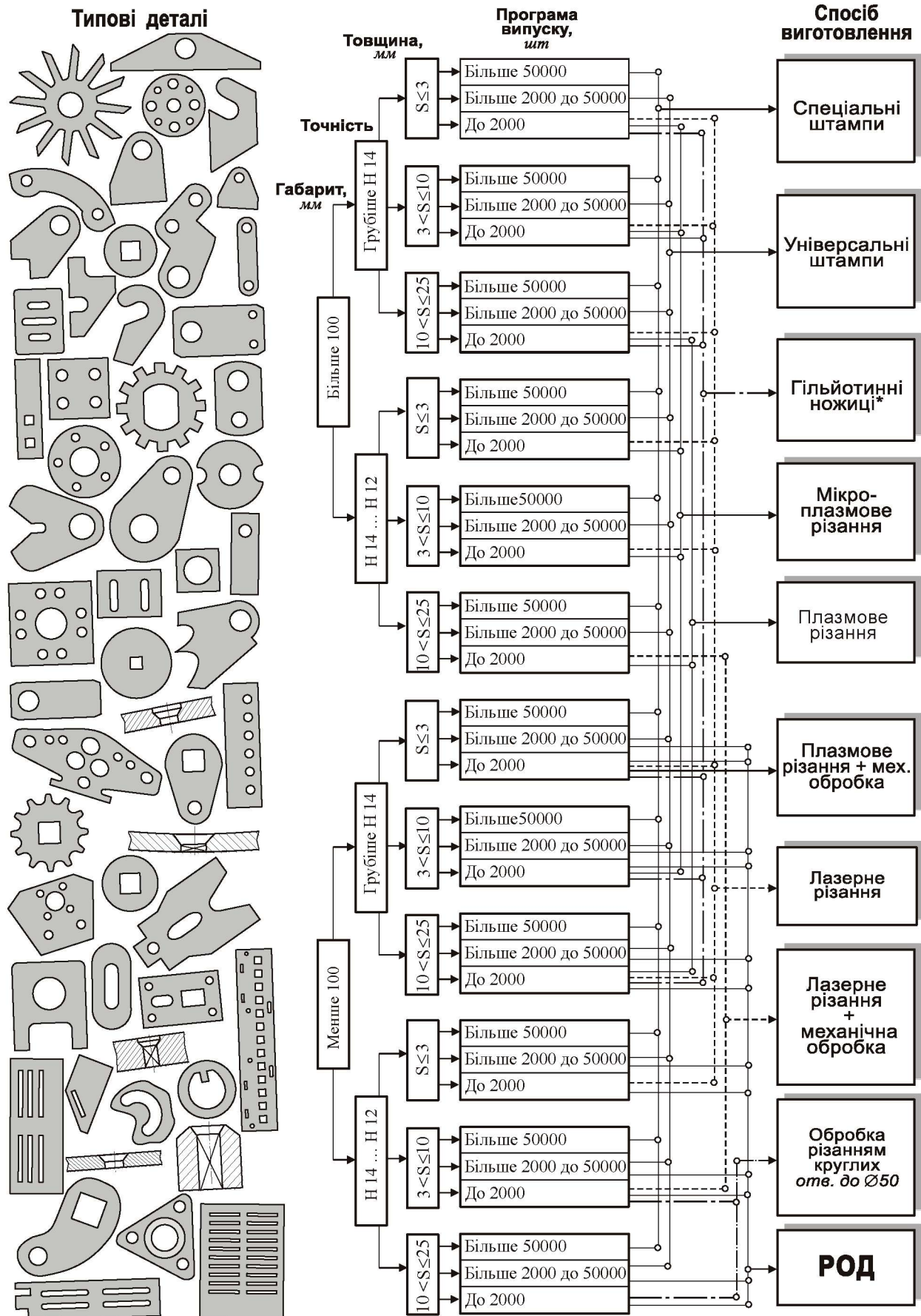


Рис. 4 – Схема вибору оптимального способу виконання розділових операцій листових деталей

Отже, в результаті аналізу калькуляцій технологічної собівартості отримано узагальнений графік (рис. 3) на підставі якого, зокрема, розроблена схема вибору оптимального способу виконання розділових операцій залежно від габариту оброблюваного контуру, товщини заготовки, вимог до точності і програми випуску (рис. 4), де видно, що в умовах одиничного, дрібносерійного та середньосерійного виробництва при виготовленні листових деталей способи електророзрядної обробки забезпечують більш високу економічну ефективність порівняно з традиційними способами штампування і механічної обробки. Це дозволяє стверджувати, що розвиток способів електророзрядної обробки – один з важливих напрямків розвитку процесів обробки листових деталей.

Узагальнені результати економічних розрахунків технологічної собівартості виготовлення листових деталей по внутрішньому і зовнішньому контурах представлені на рис. 4.

Висновки. 1. Листові деталі в машинобудуванні складають близько 70%. Їх виготовляють з використанням розділових операцій, які зазвичай виконують штампуванням. Проте всі ці операції в даний час можна здійснити також ЕРО, що включає способи ЕЕО, РОД та ППР. В зв'язку з цим виникає необхідність економічного обґрунтування і вибору оптимального варіанту технологічного процесу у кожному конкретному випадку і, отже, необхідність визначення областей раціонального застосування кожного з вказаних способів.

2. В умовах одиничного, дрібносерійного і середньосерійного виробництва при виготовленні листових деталей способи ЕРО забезпечують вищу економічну ефективність і ширші технологічні можливості в порівнянні з традиційними способами штампування і механічної обробки. Тому способи ЕРО повинні витіснити традиційні способи штампування і механічної обробки, інакше, скажемо так, електрод повинен витіснити штамп і різець – в цьому полягає один з головних напрямів розвитку процесів обробки листових деталей.

Список літератури: 1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою / В. І. Носуленко // Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 1999. – 32 с. 2. Чумаченко О. С. Розмірна обробка електричною дугою листових деталей / О. С. Чумаченко // Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.07. Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 2002. – 20 с. 3. Носуленко В. І. // Перспективи та області раціонального застосування процесу розмірної обробки металів електричною дугою / В. І. Носуленко // Збірник наукових праць КДТУ. Вип. 12. Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 98-103. 4. Чумаченко О. С. Перспективи та області раціонального застосування розмірної обробки дугою листових деталей сільськогосподарської техніки / О. С. Чумаченко // Конструювання та експлуатація с/г машин. Вип. 9. Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 132-138.

Bibliography (transliterated): 1. Nosulenko V. I. Rozmirna obrobka metaliv elektrichnoyu dugoyu / V. I. Nosulenko Avtoref. dis. d-ra tehn. nauk: 05.03.07. Kirovogradskiy derzh. tehn. un-t. – Kyiv, 1999. – 32 p. 2. Chumachenko O. S. Rozmirna obrobka elektrichnoyu dugoyu listovih detaley / O. S. Chumachenko Avtoref. dis... kand. tehn. nauk: 05.03.07. Kirovogradskiy derzh. tehn. un-t. – Kyiv, 2002. – 20 p. 3. Nosulenko V. I. Perspektivi ta oblastI ratslalnogo zastosuvannya protsesu rozmlrnoYi obrobki metaliv elektrichnoyu dugoyu / V. I. Nosulenko Zbirnik naukovih prats KDTU. Vip. 12. Kirovograd: KDTU, 2003. –

Р. 98-103. 4. *Chumachenko O. S.* Perspektivi ta oblast ratsionalnogo zastosuvannya rozmirnoyi obrobki dugoyu listovih detaley silskogospodarskoyi tehniki *O. S. Chumachenko* Konstruyuvannya ta ekspluatatsiya sg mashin. Vip. 9. Kirovograd: KDTU, 2001.

Надійшла (received) 29.10.2014

УДК 621.777

В. В. ПИМАНОВ, асистент, НТУУ «КПІ», Київ

ХОЛОДНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ПОЛОСТИ МАТРИЦЫ ДЛЯ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ

Приведены результаты компьютерного моделирования методом конечных элементов холодного выдавливания полости в заготовке из стали Р6М5 в условиях действия дифференцированного противодействия на свободную поверхность заготовки. Установлено: необходимое максимальное противодействие, которое обеспечивает выдавливание без разрушения; конечные размеры изделий; усилия процесса; распределения напряжений на деформирующем инструменте; напряжённо-деформированное состояние и степень использования ресурса пластичности металла. Спроектирована и изготовлена штамповая оснастка. Проведено экспериментальное выдавливание полости матриц из стали Р6М5 для аппаратов высокого давления. Выполнен анализ микроструктуры на характерных участках деформированной заготовки.

Ключевые слова: холодное выдавливание, полость матрицы, дифференцированное противодействие, мастер-пуансон, моделирование, метод конечных элементов, микроструктура.

Введение. Синтез сверхтвёрдых материалов, а также спекание поликристаллов осуществляются в аппаратах высокого давления (АВД). Рабочий инструмент АВД (матрицы и пуансоны) изготавливается из инструментальных и твёрдых сплавов. Для повышения стойкости инструмента АВД при их изготовлении используют холодное выдавливание (ХВ). Эффективность ХВ при изготовлении деталей из малопластичных и труднодеформированных приведена в [1]. Однако из-за низкой пластичности инструментальных сталей традиционное ХВ не обеспечивает необходимых параметров холодного вдавливания, а также имеет место незаполнение гравюры полости сложной формы. Для повышения пластичности сталей при холодном формообразовании изделий используют схемы выдавливания с увеличенным гидростатическим давлением в очаге деформации. Например с помощью приложения противодействия жидкостью под высоким давлением. Эффективность действия жидкости под высоким давлением на пластичность при механических испытаниях образцов и в процессах прямого выдавливания доказана в работах [2, 3]. Получение полостей рабочего инструмента холодным выдавливанием с противодействием позволяет увеличить глубину вдавливания за один переход и повысить стойкость мастер-пуансонов [4, 5].