

*С.В. Попов, к.т.н., доцент**А.В. Васильєв, к.т.н., доцент**І.В. Хоменко, к.т.н., доцент**Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗКОЧУВАННЯ ОТВОРІВ В АЛЮМІНІЄВИХ КОРПУСНИХ ВИРОБАХ

У статті представлені результати експериментальних досліджень процесу розкочування. Встановлено ступінь впливу режимних параметрів (подача, швидкість обробки, початкова шорсткість поверхні, сила деформування) на кінцеву шорсткість поверхні, а також тиску деформування та похибки форми на зміну діаметрального розміру отворів

Ключові слова: *поверхнєве пластичне деформування, деформуючий елемент, осередок деформації, розкочувач, шорсткість поверхні*

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку технології обробки деталей машин характеризується зростаючими вимогами, що висуваються до якості одержуваних поверхонь на фінішних операціях. Одним з найбільш прогресивних, економічних, продуктивних і доступних в реалізації методів обробки на фінішних операціях є поверхнєве пластичне деформування (ППД) шляхом розкочування. Воно забезпечує необхідний набір основних показників якості: задану ступінь і глибину зміцнення, низькі параметри шорсткості, стискаючі залишкові напруження і задану мікроструктуру, залишаючись при цьому недостатньо вивченим процесом в окремих випадках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Починаючи з 70-их років минулого сторіччя починає розвиватись теорія і технологія ППД на основі фундаментальних наук, що описують поведінку металу при пластичному деформуванні. Деякі загальні уявлення про течію матеріалу деформованого шару при ППД викладено у роботах [1, 2, 3] на основі аналізу профілограм та геометрії осередку деформації (ОД). У більш пізніх роботах [4, 5, 6, 7] питання деформування розглянуто більш детально із аналізом деформаційних процесів, що відбуваються у вершині „хвилі” матеріалу, що йде перед деформуючим елементом (ДЕ). В одній із останніх робіт [8] проведено додатковий аналіз діаграми „справжнє напруження – залишкова деформація”, що дозволив виявити критичну точку (точку перегину), що визначає початок деструкції (мікропошкоджень) при пластичному деформуванні набагато раніше до факту руйнування матеріалу.

Виділення нерозв’язаних раніше частин загальної проблеми Останнім часом в основу методів дослідження покладено припущення про дискретну будову металу. Вони дозволили виявити, що основні зміни у металі під час ППД пов’язані зі ступенем спотворення структури кристалічної ґратки, величиною раз орієнтації блоків, зі зміною щільності дислокацій, із напруженнями кристалічної структури. У [9] стверджується, що ці дослідження, хоча і дають розуміння фізичних явищ, що відбуваються в металі, однак під час розробки технології обробки конкретних деталей з конкретних матеріалів необхідно в основному спиратись на експериментальні дані. Все вищезазначене пояснюється тим, що на даний момент не розроблено методів розрахунку фізичних параметрів стану металу в ОД залежно від технологічних режимів, з одного боку, і складністю їх реалізації і контролю у виробничих умовах, з іншого.

Постановка завдання. Основним завданням експериментальних досліджень було наступне: 1) встановити закономірності впливу робочої подачі, швидкості обробки, початкової шорсткості поверхні, сили деформування на кінцеву шорсткість поверхні; 2)

визначити вплив тиску деформування на зміну діаметрального розміру отвору, а також похибку форми у поперечному перетині.

У якості зразків для експериментальних досліджень використані корпуси пристроїв гальмівних (рис. 1), що випускаються промисловістю регіону серійно. Корпуса виготовлені із алюмінієвого сплаву АК12М2 ГОСТ 1583-93.

Параметрами для контролю під час проведення дослідів слугуватимуть кінцева шорсткість поверхні, діаметр оброблюваного отвору, похибка форми отвору. Для усунення імовірності появи випадкової помилки проводилось декілька паралельних дослідів.

Основний матеріал і результати. Під час проведення дослідів здійснювалась обробка партії деталей на вертикально-свердильному верстаті моделі 2Н125Л. Схема обробки представлена на рис. 2.



Рис. 1. Пристрій гальмівний

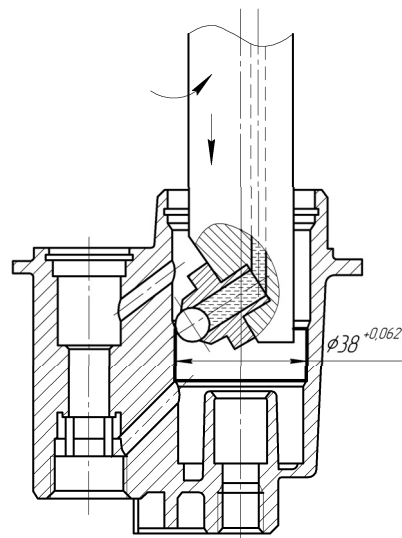


Рис. 2. Схема обробки

Використовувалась технологічна оснастка: інструмент – розкочувач; пристосування затискне код 7304-4064.

Технологічні режими розкочування: робоча подача $S = 0,05 \dots 0,8$ мм/об; швидкість обробки $V = 30 \dots 260$ м/хв.; тиск деформуючого елемента (ДЕ) на оброблювану поверхню $P = 200 \dots 1000$ МПа; початкова шорсткість поверхні $Ra_{\text{поч.}} = 2,5 \dots 4,5$ мкм. Характеристика ДЕ – ролик зі сталі ШХ 15, HRCe 60...65, діаметр $D = 6$ мм.

Тиск МОР на ДЕ забезпечувався та регулювався гідростанцією, вимірювався манометром ДМ 100-ВУ-6 МПа-1,5-У2 ТУ 4212-106-00227471. У якості МОР застосовувалось мастило індустріальне І-20.

Тиск ролика на поверхню деталі визначався залежно від сили P_y , що діє від ДЕ і площі контакту S_k деталі та ДЕ

$$P = P_y / S_k. \quad (1)$$

Площа контакту визначалась за формулою [10]

$$F = \frac{8}{3} R \sqrt{R_o / (R_o - R)} \left(\sqrt{(h - \omega)\omega} + \omega + \frac{1}{4} \sqrt{\omega h} \right), \quad (2.2)$$

де R – радіус ДЕ;

R_0 – радіус деталі;

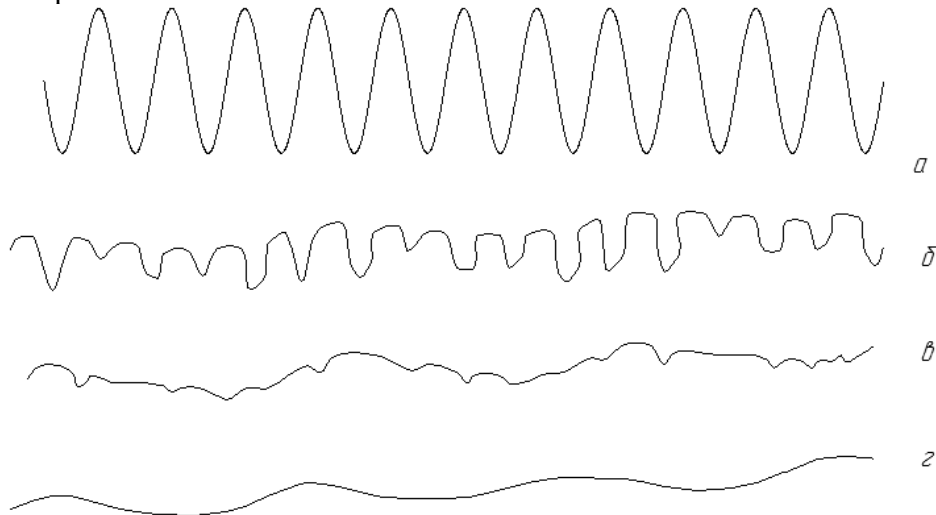
h , ω – залишкова та пружна деформації.

Вимірювання діаметра отвору і похибки форми отвори здійснювалось відповідно до ГОСТ 28187-89 за трьома поперечними чотирма поздовжнім перетинам оброблюваного отвору. Діаметр отвору вимірювався цифровим нутроміром НИ 18-50/80 ПТ ГОСТ 868-82 із похибкою вимірювання 1 мкм. Похибка форми визначалась із використанням стенду на базі оброблюваного верстата із застосуванням індикатору МИГ 1 ГОСТ 9696-75 із похибкою вимірювання 1 мкм. Вимірювання шорсткості здійснювалось із використанням профілографу-профілометру моделі 250.

Процес згладжування початкових мікронерівностей при поверхнево-пластичному деформуванні звичайно пов'язують із безпосереднім зминанням виступів, що представляються у вигляді клину трикутної форми. На перший погляд така модель є майже придатною. Хоча висота мікронерівностей набагато менше товщини шару, що залучається у деформацію, тобто мікро нерівності становлять порівняно незначну частину шару, що деформується. Тому його можна представити у вигляді смуги товщиною h , що несе на своїй поверхні початкові мікро нерівності. У процесі переміщення області деформації по довжині деталі смуга отримує прогин у зоні осьової або колової хвилі за рахунок витріщання і зминання матеріалу поверхневого шару. В цих умовах смуга зазнає складної деформації розтягу, стиску, згину, зсуву. При цьому усі ці види деформації протікають одночасно як у осьовому, так і в коловому напрямках.

Зі збільшенням зусилля розкочування механіка деформування початкових і формування нових мікронерівностей дещо видозмінюється. У області низьких значень P досягається лише часткове зминання мікронерівностей. Тому на профілографах помітні неповністю zdeформовані мікронерівності на оброблюваній поверхні (рис. 3). При зростанні зусилля деформування мікронерівності повністю зминаються, але після виходу із контакту нові нерівності частково піднімаються над рівнем знов утвореної поверхні.

На рис. 4 наведено графік залежності кінцевої шорсткості обробленої поверхні від величини подачі S . При її підвищенні спостерігається підвищення шорсткості на усіх швидкостях обробки V .



**Рис. 3. Зміна профілографи поверхні деталі
при розкочуванні із різними зусиллями:**

а – точіння; б, в, г – розкочування ($P=400$; 800; 1000 МПа відповідно)

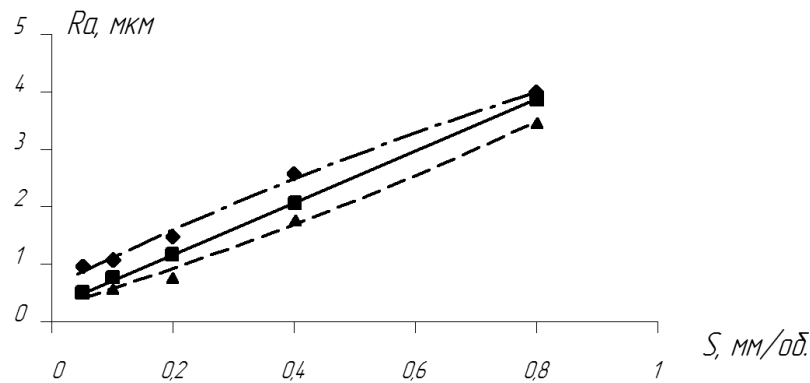


Рис. 4. Залежність впливу подачі на шорсткість поверхні:

- — — — — $V = 30$ м/хв., $P = 200$ МПа, $Ra_{\text{поч.}} = 2,5$ мкм;
- . — . — . $V = 140$ м/хв., $P = 200$ МПа, $Ra_{\text{поч.}} = 2,5$ мкм;
- $V = 260$ м/хв., $P = 200$ МПа, $Ra_{\text{поч.}} = 2,5$ мкм

При збільшенні подачі збільшується відстань між вершинами виступів оброблюваних нерівностей за рахунок зменшення кратності прикладання тиску на одиницю площі ОД, що призводить до зниження рівня пластичної деформації у ОД через зменшення впливу ДЕ на виступи нерівностей. Вплив подачі на шорсткість обробленої поверхні пов'язаний із тим, що під час ППД відбувається пластична течія металу не лише у напрямку подачі (пряма пластична течія), але й у зворотному напрямі (зворотна пластична течія). Наслідком зворотної пластичної течії є підйом металу у позаконтактній зоні після ДЕ і утворення у зв'язку із цим нових нерівностей Ra . Із підвищенням подачі збільшується значення кінцевої шорсткості Ra і утворюється гвинтовий слід на оброблюваній поверхні від ДЕ. Обидва ці фактори призводять до збільшення шорсткості.

На рис. 5 представлено графік залежності впливу швидкості обробки V на кінцеву шорсткість Ra , з якого очевидно, що збільшення швидкості неоднозначно впливає на шорсткість. Таку залежність шорсткості від швидкості обробки можливо пояснити різною швидкістю проходження пружно-пластичної деформації металу у ОД при дії на нього конкуруючих факторів: швидкість обробки і температура.

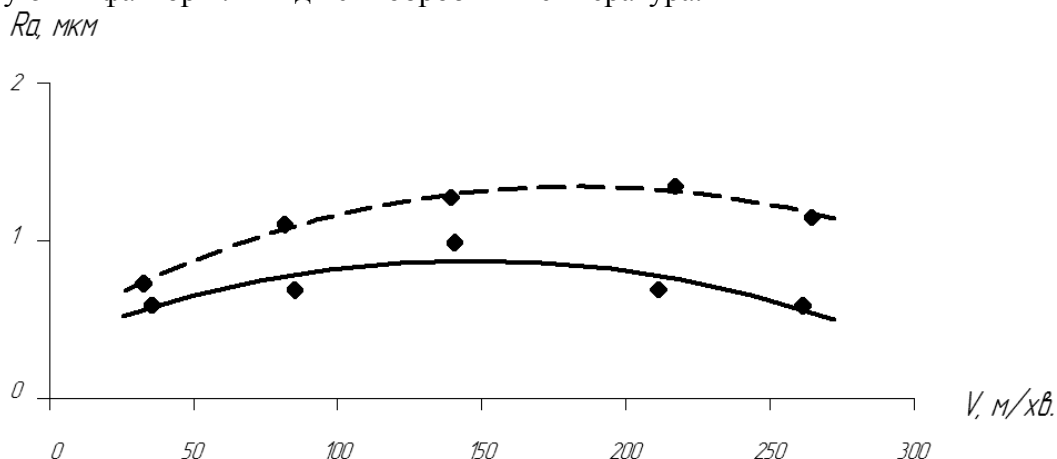


Рис. 5. Вплив швидкості обробки на шорсткість поверхні:

- $S = 0,05$ мм/об., $P = 200$ МПа, $Ra_{\text{поч.}} = 2,5$ мкм;
- — — — — $S = 0,1$ мм/об., $P = 200$ МПа, $Ra_{\text{поч.}} = 2,5$ мкм

Залежно від співвідношення пружної та пластичної деформації, що відбувається в металі при ППД, визначається рівень показників шорсткості у поверхневому шарі деталі,

що оброблюється. При швидкості обробки до 150 м/хв. переважає вплив швидкісного фактору над температурним, тому рівень пластичної деформації зменшується. Це призводить до збільшення шорсткості R_a . При швидкостях обробки вище 150 м/хв. переважає вплив температурного фактору. Рівень пластичної деформації збільшується, що полягає у зменшенні шорсткості R_a .

На рис. 6 наведена залежність шорсткості обробленої поверхні R_a від тиску деформування P при різних величинах подачі ДЕ. Із рисунка слідує, що при збільшенні тиску до 200 МПа спостерігається різке зниження R_a , яке можливо пояснити тим, що в цих умовах має місце в основному геометричний характер зменшення нерівностей за рахунок їх осадку і виникнення ОД 1-го виду.

При подальшому збільшенні тиску деформування підлягають не лише виступи нерівностей, але й частина основного металу. При цьому виникають ОД 2-го і 3-го видів. Мінімальна шорсткість має місце при тискові біля 800 МПа.

При підвищенні тиску понад 800 МПа шорсткість поверхні починає зростати. Характер деформації при цьому відповідає ОД 4-го виду, коли спочатку відбувається збільшення зворотного пластичного плину у позаконтактній зоні ОД після ДЕ, що і призводить до збільшення висоти виступів нерівностей (шорсткості), а при подальшому збільшенні тиску відбувається перенаклеп матеріалу, що характеризується луценням поверхневого шару.

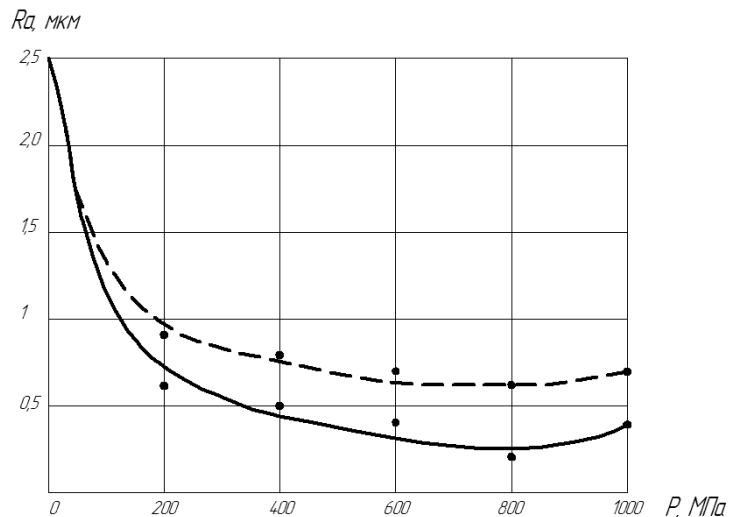


Рис. 6. Вплив тиску деформування на шорсткість поверхні:

— — — — — $S = 0,2$ мм/об., $V = 30$ м/хв., $R_{a\text{поч.}} = 2,5$ мкм;
 ————— $S = 0,05$ мм/об., $V = 30$ м/хв., $R_{a\text{поч.}} = 2,5$ мкм

Перевищення значень R_a при подачі 0,2 мм/об. над R_a при подачі 0,05 мм/об. відповідає залежності, наведеній на рисунку 2.4 і пояснюється зменшенням числа контактів ДЕ із точками оброблюваної поверхні ОД.

Графік залежності впливу початкової шорсткості $R_{a\text{поч.}}$ на кінцеву шорсткість R_a обробленої поверхні наведено на рис. 7, із якого виходить, що кінцева шорсткість збільшується прямопропорційно збільшенню початкової шорсткості при постійному тиску деформування.

Підвищення R_a при збільшенні $R_{a\text{поч.}}$ при постійному тиску деформування говорить про те, що часу впливу цього тиску недостатньо для повного проходження пластичної деформації в матеріалі. Це підтверджується тим, що при зниженні швидкості обробки із 140 м/хв. до 35 м/хв., тобто при збільшенні часу впливу сили, рівень кінцевої шорсткості R_a на 20...30% менше при однакових значеннях подачі ДЕ.

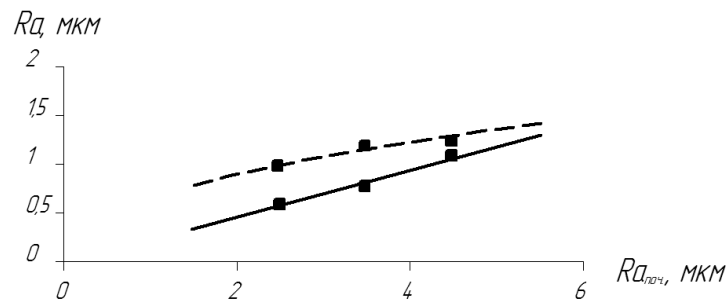


Рис. 7. Залежність впливу початкової шорсткості поверхні на кінцеву шорсткість:

--- $S = 0,05$ мм/об., $V = 30$ м/хв., $P = 200$ МПа;

— $S = 0,05$ мм/об., $V = 140$ м/хв., $P = 200$ МПа

Чим менше параметр шорсткості поверхні, підготовленої для розкочування, тим менше кінцеву шорсткість можливо забезпечити. Але при цьому позначається собівартість операції, що забезпечує меншу шорсткість: чим нижче шорсткість, тим вища собівартість підготовчої операції. Дана обставина враховувалась під час проведення дослідів, тому початкова шорсткість поверхні становила $Ra\ 2,5 \dots 4,5$ мкм (розточування).

На рис. 8 представлено графік залежності похибки форми отвору у поперечному перетині від тиску деформування при різних товщинах стінки оброблюваної деталі. Відповідно до креслення деталі (графічна частина роботи) товщина стінки деталі дорівнює $3,3 \dots 4,8$ мм. Різниця у товщині стінки становить $\Delta = 1,5$ мм. Бачимо, що допустимий рівень тиску деформування необхідно призначати виходячи із допустимої величини похибки форми отвору у найбільш послаблених місцях оброблюваної деталі, тобто для ділянок із меншими товщинами стінок.

Наприклад для отвору $\varnothing 38^{+0,062}$ корпусу пристрою гальмівного допустима величина форми у поперечному перетині дорівнює $0,02$ мм, тому тиск деформування не повинен перевищувати 400 МПа.

На рис. 9 наведено графік залежності діаметра обробленого отвору від тиску деформування. Збільшення розміру отвору при збільшенні тиску деформування пояснюється зменшенням висоти нерівностей виступів шорсткості за рахунок їх втискання у западини при пластичному деформуванні.

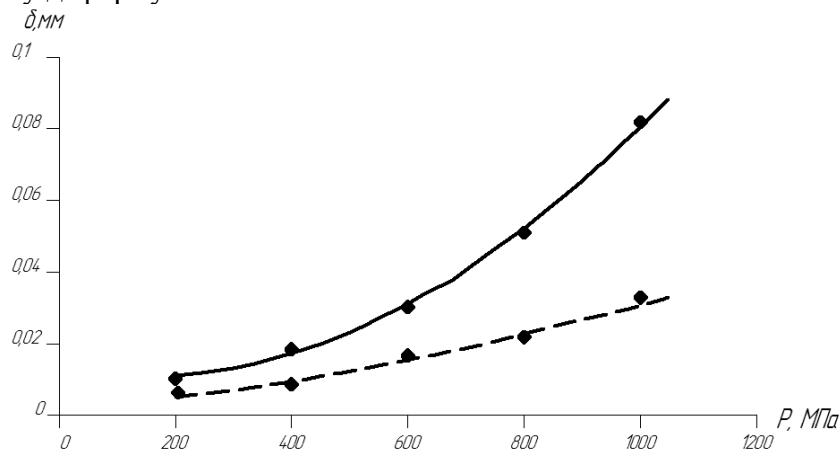


Рис. 8. Вплив тиску деформування на похибку форми отвору у поперечному перерізі:

— $\Delta = 1,5$ мм; --- $\Delta = 1$ мм

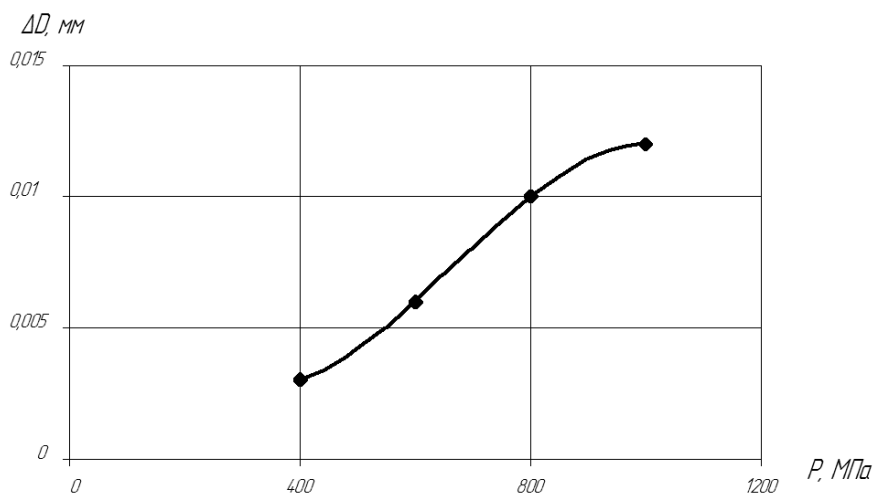


Рис. 9. Вплив тиску деформування на зміну діаметра отвору

Висновки. У результаті проведених експериментальних досліджень процесу механічної обробки розкочуванням отвору $\varnothing 38^{+0,062}$ у корпусній деталі, що виготовлена із алюмінієвого сплаву марки АК12М2 ГОСТ 1583-93 встановлено наступне. Шорсткість обробленої поверхні підвищується зі збільшенням величини подачі. Це відбувається за рахунок зменшення кратності прикладання тиску на одиницю площі ОД, що призводить до зменшення рівня пластичної деформації. Збільшення швидкості обробки неоднозначно впливає на шорсткість обробленої поверхні. Це пояснюється різною швидкістю проходження пружно-пластичної деформації металу у ОД при дії на нього конкуруючих факторів: швидкості обробки і температури. До 150 м/хв. переважає вплив швидкісного фактору над температурним (шорсткість підвищується), а потім – навпаки (рівень пластичної деформації збільшується і шорсткість зменшується). При збільшенні тиску деформування до 200 МПа спостерігається різке зниження шорсткості, що пояснюється геометричним характером зменшення нерівностей за рахунок їх осадження, потім деформування зазнає і основний метал. Мінімальна шорсткість досягається при тискові 800 МПа, потім вона починає збільшуватись внаслідок пере наклепу і лущення матеріалу. Кінцева шорсткість збільшується прямопропорційно збільшенню початкової шорсткості при постійному тискові деформування. Допустимий рівень тиску деформування необхідно призначати виходячи із допустимої величини похибки форми отвору. У нашому випадку він становить 400 МПа.

Література

1. Торбило В.М. Алмазное выглаживание / В.М. Торбило. – М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
2. Смелянский В.М. Повышение надежности и долговечности хромированных деталей гидроагрегатов обработкой ППД / В.М. Смелянский, В.В. Дубенко // Алмазы и сверхтвердые материалы. – М.: НИИМАШ, 1976. – №9. – С.25-30.
3. Смелянский В.М. Исследование очага деформации при ППД / В.М. Смелянский // Новые процессы изготовления деталей и сборки автомобилей. – 1978. – № 1. – С.18-23.
4. Каледин Б.Л. Повышение долговечности деталей поверхностным пластическим деформированием / Б.Л. Каледин. – Минск: Наука и техника, 1974. – 232 с.
5. Смелянский В.М. Механика упрочнения поверхностного слоя деталей машин при обработке ППД / В.М. Смелянский // Вестник машиностроения. – 1982. – №11. – С. 14-21.
6. Маталин А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
7. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 536 с.
8. Рыбакова Л.М. Механические закономерности разрушения металла при объемном и поверхностном пластическом деформировании / Л.М. Рыбакова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – М., 1985. – №5. – С. 32-38.

9. Яцерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства илифрованных сталей / П.И. Яцерицын. – Минск, 1971. – 142 с.

10. Кардашов А.В. Влияние ППД на выносливость некоторых алюминиевых сплавов в коррозионной среде / А.В. Кардашов // Прогрессивные процессы упрочнения ППД. – М., 1974. – С. 12-18.

© С.В. Попов, А.В. Васильев, І.В. Хоменко

УДК 621.7.10

С.В. Попов, к.т.н., доцент

А.В. Васильев, к.т.н., доцент

І.В. Хоменко, к.т.н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСКАТЫВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В АЛЮМИНИЕВЫХ КОРПУСНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

В статье представлены результаты экспериментальных исследований процесса раскатывания. Выявлена степень влияния режимных параметров (подача, скорость обработки, начальная шероховатость поверхности, сила деформирования) на конечную шероховатость поверхности, а также давления деформации и погрешности формы на изменения диаметрального размера отверстий

Ключевые слова: *поверхностное пластическое деформирование, деформирующий элемент, очаг деформации, раскатка, шероховатость поверхности*

UDC 621.7.10

S.V. Popov, Ph.D.

A.V. Vasilyev, Ph.D.

I.V. Khomenko, Ph.D.

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

RESEARCH OF ALUMINIUM BASIC PARTS FINISHED BY HOLE ROLLING PROCESS

The article presents the results of experimental studies of the process rolling. Detected degree of influence of mode parameters (flow, processing speed, an initial surface roughness, deformation force) of the final surface roughness, pressure deformation and form errors on diametrical holes size changes

Keywords: *surface plastic deformation, deforming element, deformation focus, rolling tool, surface roughness*