

О. Г. СЕМЕНЯКО, аспірант, ЧНТУ, Чернігів;

О. М. ЧЕРЕДНІКОВ, канд. техн. наук, проф., ЧНТУ, Чернігів

ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ІЗОСТАТИЧНОМУ ПОВЕРХНЕВОМУ ДЕФОРМУВАННІ

Визначені взаємозв'язки основних параметрів якості маложорстких кілець з пористих спечених композицій з конструктивно-технологічними параметрами обробки при ізостатичному поверхневому пластичному деформуванні. Запропоновані розрахункові формули для визначення основних параметрів якості поверхневого шару при ізостатичному поверхневому пластичному деформуванні.

Ключові слова: маложорсткі кільця, ізостатичне поверхнєве деформування, параметри якості поверхні.

Постановка проблеми. Залежно від функціонального призначення робочі поверхні деталей машин повинні забезпечувати певні експлуатаційні властивості, які в свою чергу характеризуються комплексом параметрів якості поверхневого шару. Незважаючи на велику кількість досліджень, до теперішнього часу не вдалося отримати загальновизнані залежності, що дозволяють кількісно визначити параметри якості поверхні при поверхневому пластичному деформуванні (ППД) у всьому діапазоні режимів обробки. Це пояснюється складною взаємодією великої кількості факторів при обробці, з одного боку, і недостатньою увагою до особливостей течії металу в осередку деформації з іншого [1].

Спроби досліджувати процес деформації оброблюваної поверхні із застосуванням сучасних досягнень фізики твердого тіла, теорії пружності і пластичності, а також з урахуванням дискретності металу дозволили з'ясувати і пояснити багато особливостей процесу ППД. Проте, виявилось, що використання мікрорівня при розробці методики розрахунку раціональних конструктивних параметрів деформуючих елементів і режимів обробки не представляється можливим у зв'язку з малою вивченістю даного процесу [2].

Тому для кращого розуміння процесів, які відбуваються в поверхневому шарі деталі (маложорсткого кілеця з пористого спеченого матеріалу) при обробці ізостатичним ППД, необхідно розглянути взаємозв'язок основних параметрів якості з умовами обробки.

Аналіз останніх досліджень. До теперішнього часу в області дослідження поверхневого пластичного деформування накопичений значний теоретичний і експериментальний матеріал, в якому розглядається вплив конструктивно-технологічних параметрів і чинників на продуктивність і якість обробленої поверхні. В результаті цього встановлено, що якість поверхонь деталей залежить від великої кількості технологічних чинників обробки, конструктивних параметрів деформуючих елементів і розмірів деталей [2].

В даний час є загальновизнаним, що основним чинником, що впливає на показники якості поверхневого шару, особливо на шорсткість поверхні Ra , Rz , при

обробці деталей поверхневим пластичним деформуванням є зусилля деформації. Проте, аналіз літературних джерел і результатів експериментальних досліджень показує, що при обробці з одним і тим же зусиллям деформації, але різними по розмірах і формі робочої поверхні інденторами результати виходять різні. В зв'язку з цим рядом авторів [1–3] було висловлено думку, що замість зусилля деформації як інтегруючий показник слід прийняти площу поверхні контакту. Проте, площа поверхні контакту також не є параметром, що однозначно описує умови і результати обробки.

Фізико-механічний стан поверхневого шару при ППД характеризується ступенем зміцнення ε , значенням мікротвердості H_{μ} , приросту мікротвердості ΔH_{μ} при обробці, глибиною зміцненого шару h , величиною залишкових напружень σ_z та їх розподілом по глибині поверхневого шару. Основний вплив на формування фізико-механічних параметрів чинять режими обробки і геометрія інструменту [1,2,4].

Мета роботи. Метою роботи є визначення взаємозв'язків основних параметрів якості робочих поверхонь маложорстких кілець з пористих спечених композицій з конструктивно-технологічними параметрами обробки при ізостатичному ППД.

Виклад основного матеріалу. Основними факторами і параметрами обробки, які визначають формування поверхневого шару, при ізостатичному ППД є: кількість циклів навантаження, форма і розміри деформуючих елементів (інденторів), розміри оброблюваної деталі, зусилля деформування, геометрія контакту, максимальна глибина впровадження індентора, механічні характеристики матеріалу (границі текучості і міцності), пористість, твердість і деякі інші величини.

Другорядним фактором, який впливає на якість поверхневого шару є змащуючи-охолоджуюча рідина (ЗОР) – зменшення чи збільшення тертя між інденторами (коефіцієнт тертя).

При ізостатичному ППД режими обробки і параметри інструменту тісно взаємопов'язані та істотно впливають один на одного. Зрозуміло, що ті й інші необхідно визначати виходячи з фізичної картини формування поверхневого шару при ізостатичному ППД. На сьогоднішній день узагальненої фізичної картини, яка описує всі процеси, що відбуваються при ізостатичному ППД, немає. Однак існує безліч моделей, що описують окремі випадки опоряджувально-зміцнюючої обробки ППД або, які охоплюють цілі групи методів, що побудовані як на великих експериментальних даних, так і на результатах теоретичних досліджень.

При обробці маложорстких кілець ізостатичним ППД деформуючими елементами кульками для опису взаємозв'язку між величинами, що визначають умови обробки та показниками якості, можна написати загальну систему рівнянь:

$$y = f(r, R, P, h, \max, N, \omega, \sigma_t, \sigma_v, H_{\mu}, \theta, T_k, R_v) \quad (1)$$

де y - один з показників якості поверхневого шару (шорсткість поверхні, ступінь зміцнення, глибина зміцнення, величина залишкових напружень, приріст твердості), r – радіус індентора, R – радіус деталі, P – зусилля деформування, h_{\max} – максимальна глибина впровадження індентора, N – кількість циклів навантаження, ω – швидкість обробки (кількість навантажень в одиницю часу), σ_t – границя текучості, σ_v – границя міцності, H_{μ} - мікротвердість, θ – пористість, T_k – температура в контакті, R_v – вихідна шорсткість оброблюваної поверхні.

Велика кількість величин, які впливають на якість поверхневого шару, істотно ускладнюють вибір оптимального поєднання їх значень. На рис. 1 схематично показаний взаємозв'язок основних параметрів якості робочих поверхонь

маложорстких кілець з пористих спечених композицій з конструктивно-технологічними параметрами обробки при ізостатичному ППД. В цій схемі вплив одних параметрів на інші визначається по напрямку стрілок. Конструктивні параметри і технологічні фактори (зусилля деформування, максимальна глибина впровадження індентора) визначають геометричні параметри контактної зони, а через параметри контакту (геометрію контакту), вихідні властивості матеріалу заготовки (границя текучості, границя міцності, твердість, пористість) впливають на фізико-механічні явища в зоні контакту (напруження, деформації, температуру в контакті). В свою чергу, через фізико-механічні процеси в осередку деформації остаточно формується якість поверхневого шару.

Розглянемо формування мікрогеометрії поверхні при обробці ізостатичним ППД пористого спеченого матеріалу. Деформування нерівностей при ізостатичному ППД відбувається наступним чином: деформуючий

елемент -індентор взаємодіє з виступами мікропрофілю поверхні оброблюваної деталі, в результаті чого ці виступи пластично деформуються, викликаючи течію металу (в мікрооб'ємах), причому пластична деформація відбувається в поверхневому шарі деталі. Це пов'язано зі значним перевищенням твердості робочих тіл в порівнянні з твердістю оброблюваного матеріалу (рис. 2). При цьому відбувається збільшення величини мікротвердості поверхневого шару зразка, збільшення ступеня зміцнення. Також можна зробити припущення, на основі досліджень Кадоценка О.П., що забезпечення ефекту самозмащування при ізостатичному ППД проходитиме в більш сприятливих умовах протікання процесу, ніж наприклад при накатуванні. В результаті того, що пори на оброблюваних поверхнях закриватимуться без «залізуювання» металу в порожнину пори і закриття проходитиме рівномірно по всьому діаметру пори. Зниження висотних параметрів вихідної шорсткості при ізостатичному ППД має складний характер. Тому отримати точну теоретичну модель для визначення шорсткості поверхні в залежності від режимів обробки поки не представляється можливим. Як відзначають багато дослідників [5,6], зміна шорсткості поверхні носить експоненціальний характер.

Швидкість утворення нового рельєфу знижується від максимального значення в початковий період, до значень які мало

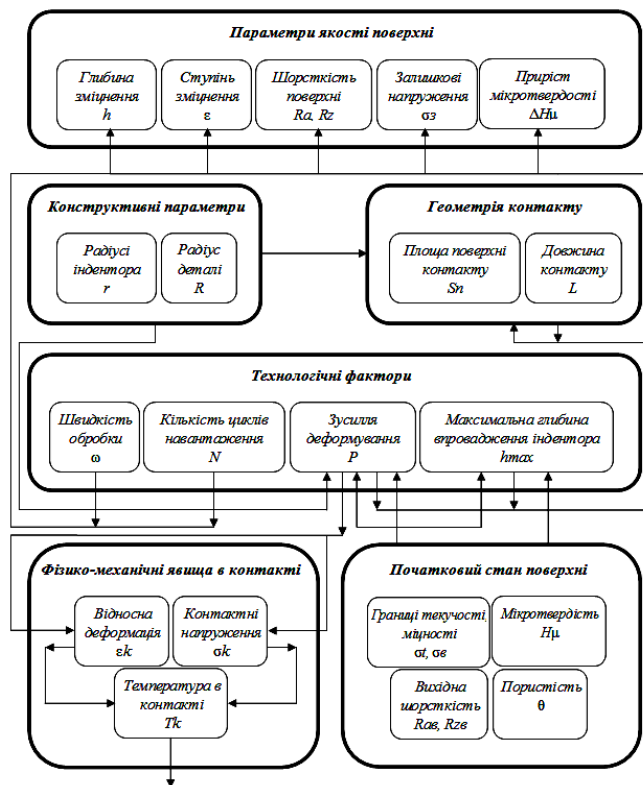


Рис. 1 – Взаємозв'язок основних параметрів якості робочих поверхонь маложорстких кілець з пористих спечених композицій з конструктивно-технологічними параметрами обробки при ізостатичному ППД

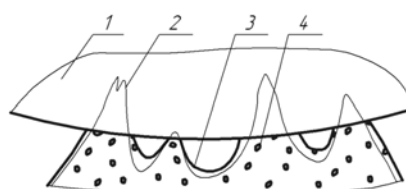


Рис. 2 - Схема деформації мікрорельєфу оброблюваної поверхні з пористого спеченого матеріалу при ізостатичному ППД: 1 – індентор (кулька), 2 – вихідний профіль, 3 – утворений профіль, 4 – пори матеріалу

відрізняються від нуля до моменту утворення усталеної шорсткості, що свідчить про формування безперервно відтворюваного рельєфу поверхні. Кожній комбінації технологічних параметрів відповідає така питома щільність взаємодій і такий рівень енергії частинок середовища, які однозначно визначають як тривалість періоду, так і висотні параметри усталеного рельєфу, причому останні залежать від вихідної шорсткості.

Таким умовам задовольняє вираз:

$$Ra = (Ra_v - Ra_y) e^{-\frac{K_i \cdot K_p \cdot K_\phi}{\omega}} + Ra_y, \quad (2)$$

де Ra – середнє арифметичне відхилення профілю вихідної шорсткості, Ra_y – середнє арифметичне відхилення профілю усталеної шорсткості, K_i – коефіцієнт інтенсивності зменшення шорсткості, K_p – вірогідність злиття і перетину осередків деформацій, K_ϕ – кількість інденторів, що взаємодіють з оброблюваною поверхнею, ω – кількість навантажень в одиницю часу.

Середнє арифметичне відхилення профілю усталеної шорсткості визначається залежністю:

$$Ra_y = K_e \cdot \sqrt{\frac{h_{\max} \cdot S_n \cdot L}{\pi r}}, \quad (3)$$

де K_e – емпіричний коефіцієнт, який залежить від конкретних умов контакту і властивостей матеріалу оброблюваної деталі, h_{\max} – максимальна глибина впровадження індентора, S_n – площа поверхні контакту, L – довжина контакту, r – радіус індентора.

Максимальну глибину впровадження індентора можна визначити по залежності:

$$h_{\max} = 2r \cdot \frac{\omega}{K_p \cdot K_\phi} \cdot K_k \cdot \sqrt{\frac{\pi D_0^2 \cdot \rho}{24 \sigma \cdot S_n}}, \quad (4)$$

де K_k – емпіричний коефіцієнт, який враховує переміщення кульки відносно оброблюваної деталі в робочій камері, D_0 – діаметр відбитка, ρ – густина матеріалу індентора, σ – границя текучості матеріалу деталі.

При вирішенні технологічних завдань при обробці ізостатичним ППД важливе значення має аналітичний розрахунок очікуваного значення глибини зміцненого шару і ступеня зміцнення. Від товщини зміцненого шару h залежать багато експлуатаційні властивості маложорстких кілець, наприклад, втомна міцність, зносостійкість і інші. Величина h визначає зону поверхневого шару, в якій є залишкова деформація зерен і дислокацій кристалічної решітки, які утворені в результаті прикладення зовнішнього навантаження. Аналітичне визначення товщини зміцненого шару і ступеня зміцнення залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу деталі і параметрів процесу є дуже складним завданням. Існуючі математичні залежності, виведені кількома авторами [5,6], були отримані на основі теорії пружності або пластичності після прийняття численних спрощень і припущень.

Виходячи з вище сказаного глибину зміцнення можна визначити по залежності:

$$h = 3K_n \cdot \sqrt{\frac{S_n}{\pi}}, \quad (5)$$

де K_n – коефіцієнт, який залежить від ступеня наклепу.

Ступінь зміцнення знаходиться по залежності:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{S_n}{\pi}} \cdot r^{-1} \quad (6)$$

В подальшому буде проведено поглиблення теорії процесу ізостатичного ППД з розробкою універсальної математичної моделі, що описуватиме взаємозв'язок між

конструктивными параметрами деформируемых элементов, геометрией контактной зоны, режимами обработки, физико-механическими явлениями в контактной зоне и показателями качества обработанной поверхности деталей.

Висновки. Визначені взаємозв'язки основних параметрів якості маложорстких кілець з пористих спечених композицій з конструктивно-технологічними параметрами обробки, фізико-механічними явищами в контакті і початковим станом оброблюваної поверхні при ізостатичному поверхневому пластичному деформуванні. Запропоновані розрахункові формули для визначення шорсткості поверхні, глибини зміцнення та ступеня зміцнення при ізостатичному поверхневому пластичному деформуванні.

Список літератури: 1. Гуров, Р. В. Проектирование технологии отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием деталей машин с учетом их функционального назначения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. – Брянск, 2012. – 32 с. 2. Отений Я. Н., Смольников Н. Я., Ольштынский Н. В. Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий: Монография / ВолгГТУ. – Волгоград, 2003. – 136 с. 3. Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. 4. Руденко П. А., Чередников О. Н. Разработка и исследование технологических методов повышения качества деталей машин и эффективности их изготовления. – Чернигов: Черниговский филиал КПИ, 1983. – 36 с. 5. Тамаркин М. А., Тищенко Э. Э., Лебедеко В. Г. Повышение качества поверхностного слоя деталей при отделочно-упрочняющей обработке в гранулированных рабочих средах. СТИН. – 2007. – №1. – С. 210-220. 6. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом / Бабичев А. П., Мотренко П. Д. и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 192 с.

References: 1. Gurov, R. V. "Designing technology finishing and hardening treatment by surface plastic deformation of machine parts with regard to their functional purpose": abstract of dis. ... dr. tehn. sciences: 05.02.08. - Bryansk, 2012. – 32 p. 2. Oteniy Y. N., Smolnikov N. Y., Olsztynskiy N. V. Progressive processing methods deep holes: Monograph / VSTU. - Volgograd, 2003. – 136 p. 3. Suslov A. G., Dalsky A. M. Scientific fundamentals of engineering technology. - M.: Mechanical Engineering, 2002. - 684 p. 4. Rudenko P. A., Cherednikov O. N. Development and research of technological methods to improve the quality of machine parts and efficiency of their production. - Chernigov: Chernigov branch KPI, 1983. – 36 p. 5. Tamarkin, M. A., Tishchenko E. E., Lebedenco V. G. Improving the quality of the surface layer parts in finishing and strengthening treatment in granular media workers. STIN. - 2007. - № 1. - p. 210-220 p. 6. Finishing and reinforcement treatment details multipin vibro-impact tool / Babichev A.P., Motrenko P.D, etc. - Rostov on/D: Publishing Center DSTU, 2003. – 192 p.

Надійшла (received) 25.03.2014

УДК 621.787

Формування параметрів якості поверхні при ізостатичному поверхневому деформуванні/ О. Г. Семеняко, О. М. Чередніков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2014. - № 17 (1060). – С.185-189 . – Бібліогр.: 6 назв. ISSN 2079-5459

Определены взаимосвязи основных параметров качества маложестких колец из пористых спеченных композиций с конструктивно-технологическими параметрами обработки при изостатическом поверхностном пластическом деформировании. Предложены расчетные формулы для определения основных параметров качества поверхностного слоя при изостатическом поверхностном пластическом деформировании.

Ключевые слова: маложесткие кольца, изостатическое поверхностное деформирование, параметры качества поверхности.

Formation parameters of quality surface to surface isostatic deformation/ O. H. Semenyako, O. M. Cherednikov//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2014.-№ 17(1060).- P.185-189. Bibliogr.:6 . ISSN 2079-5459

Identified the main parameters of the relationship as low rigidity rings porous sintered compositions of design and technological parameters of processing for isostatic surface plastic deformation. Proposed formulas to determine the basic quality parameters of the surface layer in the isostatic surface plastic deformation.

Key words: low rigidity rings, isostatic surface deformation, parameters of surface quality.