

УДК 621.787.4

О.М. Чередніков, канд. техн. наук**О.О. Борисов**, асистент**О.Г. Семеняко**, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МАЛОЖОРСТКИХ КІЛЕЦЬ
ПРИ ОБРОБЛЕННІ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ****О.Н. Чередников**, канд. техн. наук**А.А. Борисов**, ассистент**А.Г. Семеняко**, аспирант

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАЛОЖЕСТКИХ КОЛЕЦ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ****О.М. Cherednikov**, PhD in Technical Sciences**О.О. Borysov**, assistant**О.Н. Semenyako**, PhD student

Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

**TECHNOLOGICAL QUALITY ASSURANCE OF LOW RIGIDITY RINGS IN
PROCESSING BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION**

Розглянуто способи опоряджувально-зміцнюючого оброблення поверхневим пластичним деформуванням. Запропоновано спосіб поверхневого зміцнення, який дозволить обробляти маложорсткі кільця з пористих спечених композицій з підвищенням жорсткості технологічної системи інструмент-деталь та експлуатаційних характеристик, забезпечуючи ефект самозмащування. Визначені основні переваги застосування способу ізостатичного поверхневого пластичного деформування під час оброблення кілець. Розглянуто механізм передачі силової дії від робочого елемента (штока) пристрою через індентори на оброблювану поверхню заготовки. Запропоновані розрахункові формули для визначення режимів ізостатичного поверхневого пластичного деформування.

Ключові слова: маложорсткі кільця, ізостатичне поверхневе пластичне деформування, ефект самозмащування, ефект «зализування» пор.

Рассмотрены способы отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием. Предложен способ поверхностного упрочнения, который позволит обрабатывать маложесткие кольца из пористых спеченных композиций с повышением жесткости технологической системы инструмент-деталь и эксплуатационных характеристик, обеспечивая эффект самосмазывания. Определены основные преимущества применения способа изостатического поверхностного пластического деформирования при обработке колец. Рассмотрен механизм передачи силового воздействия от рабочего элемента (штока) устройства через индентор на обрабатываемую поверхность заготовки. Предложены расчетные формулы для определения режимов изостатического поверхностного пластического деформирования.

Ключевые слова: маложесткие кольца, изостатическое поверхностное пластическое деформирование, эффект самосмазывания, эффект «зализывания» пор.

Considered the methods of finishing-strengthening machining surface plastic deformation. Proposed the method of surface hardening, which will allow machining low rigidity rings from porous sintered compositions with the stiffness of the technological system tool-part and operational characteristics, providing self-lubricating effect. Identified main advantages of application of the method of isostatic surface plastic deformation while processing low rigidity rings. Considered the mechanism of transmission of the force action of the working element (rod) device through the indenter on the processed surface of the workpiece. Proposed formulas for calculating the modes isostatic surface plastic deformation.

Key words: low rigidity rings, isostatic surface plastic deformation, self-lubricating effect, the effect of «licking» pores.

Постановка проблеми. Інтенсифікація текстильного виробництва вимагає підвищення продуктивності крутильних, крутильно-витяжних і прядильних машин за рахунок підвищення надійності і працездатності пари кільце-бігунок (рис. 1).

Мала жорсткість кілець збільшує технологічні труднощі по забезпеченню точності форми (рис. 2), а операції механічного оброблення приводять до закриття пор на робочих поверхнях, що погіршує подачу мастила і знижує експлуатаційну надійність пари кільце-бігунок. Кільця поставляються споживачам з відхиленнями, близькими до гранично допустимих. Причому зміна форми у бік збільшення відхилень настає внаслідок

док технологічної спадковості вже у споживача кільце. Тому виготовлення кільце, особливо великогабаритних, з потрібними точністю форми та якістю їх робочих поверхонь є одним з актуальних завдань виробництва [1].

Вищенаведені проблеми можна істотно зменшити за рахунок використання й удосконалення методів поверхневого пластичного деформування (ППД). Оброблення поверхонь маложорстких кілець методами ППД є перспективною і може успішно застосовуватися при їх виготовленні з метою забезпечення високої якості і підвищення експлуатаційних характеристик. Використання ППД у комбінаціях з іншими видами оброблення, поліпшуючи якість оброблених поверхонь, не викликає великих додаткових витрат, оскільки питома собівартість оброблення значно нижча, ніж при використанні традиційних видів опоряджувально-зміцнюючого оброблення. Тобто потрібне поглиблення теорії процесу ППД з розробленням універсальної математичної моделі, що описує взаємозв'язок між конструктивними параметрами деформуючих елементів, геометрією контактної зони, режимами оброблення, фізико-механічними явищами в контактній зоні і показниками якості обробленої поверхні деталей. Тільки так може бути реалізована розробка нових прогресивних інструментів і способів оброблення ППД, а також вдосконалення методик їх розрахунку, орієнтованих на можливості сучасної обчислювальної техніки, які є основою інженерних розрахунків, широко вживаних при проектуванні передових технологічних процесів у вітчизняному і зарубіжному машинобудуванні [2].

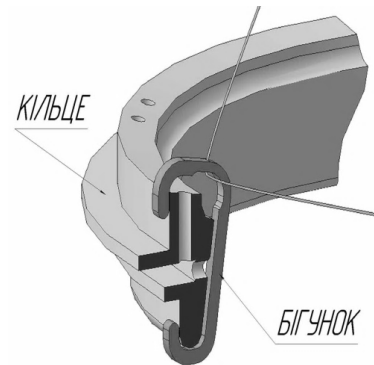


Рис. 1. Пара кільце-бігунок

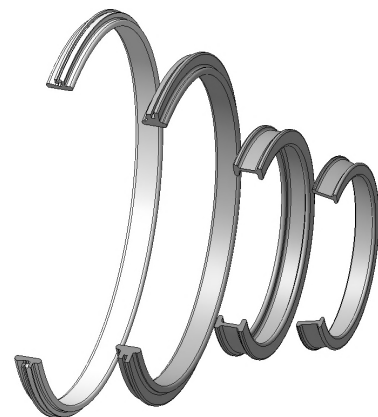


Рис. 2. Ескіз маложорстких кілець

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками все більш широке розповсюдження знаходять методи оброблення ППД. Вибір способу ППД обумовлюють конструктивні особливості оброблюваних заготовок і вимоги до якості їх поверхонь. Наявні методи [3] умовно поділяють за призначенням на дві групи (рис. 3).

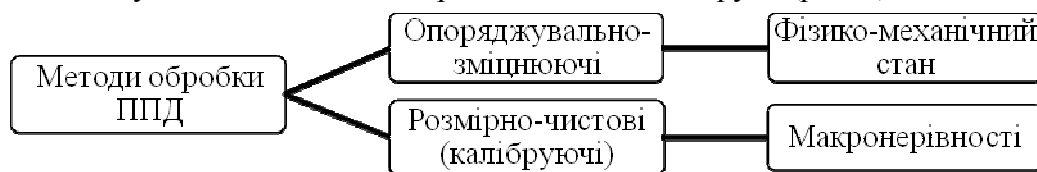


Рис. 3. Класифікація методів оброблення ППД за призначенням

Інструменти для реалізації методів ППД незалежно від їх призначення класифікують за характером взаємодії інденторів з оброблюваною поверхнею заготовки на жорстко пов'язані і пружно пов'язані (рис. 4) [3]. Для інструменту першого класу характерною є наявність натягу, який вимірюється лінійним розміром i , зазвичай, не перевищує допуску на розмір, отриманий на попередній операції ($i \leq 0,2$ мм). При роботі з "пружними" інструментами встановлюють необхідне, для протікання пластичної деформації зусилля. Принцип пружно пов'язаних взаємодій найбільш прийнятний при обробленні заготовок криволінійного профілю і низької розмірної точності, з огляду на те, що в такому випадку легко забезпечується можливість адаптації інденторів до оброблюваної поверхні.

Відомі такі способи ППД, як обкатування, розкочування, вигладжування, чекання та ін. [4]. Відомі також гідродробоструминне та дробоструминне оброблення, які поля-

гають у поступовому наклепі ділянок поверхні, що підлягає обробленню, сферичними інденторами (кульками) [5; 6]. Такі способи ППД можуть використовуватися для оброблення заготовок практично будь-якої конфігурації. Проте жорсткість конструкції деталі повинна бути достатньою для протидії силам деформації поверхні і зміні напруженого стану поверхневого шару на окремих послідовно оброблюваних ділянках. Наявність широкої номенклатури маложорстких кілець вимагає удосконалення відомих способів ППД з метою підвищення їх універсальності і можливості автоматизації процесу.

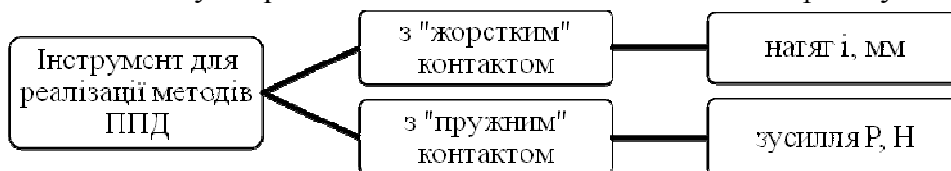


Рис. 4. Класифікація інструментів для реалізації методів ППД за характером взаємодії з оброблюваною поверхнею

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Основним завданням опоряджувально-зміцнюючих методів оброблення при виготовленні крутильних кілець є забезпечення ефекту самозмащування при роботі пари кільце-бігунок. При використанні методів ППД за принципом обкатування робочих поверхонь кульками або роликками виникає ефект «зализування» пор, що негативно позначається на експлуатаційних характеристиках кілець. При цьому відбувається деформація кілець під дією інструментів, що в свою чергу призводить до зниження точності їх форми.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення способу ППД, який би дозволив обробляти маложорсткі кільця з пористих спечених матеріалів, при цьому підвищуючи жорсткість технологічної системи інструмент-деталь та експлуатаційні характеристики, забезпечуючи ефект самозмащування.

Виклад основного матеріалу. Поставлена мета досягається зміцненням поверхневого шару одночасно на всіх ділянках оброблюваної деталі – спосіб ізостатичного ППД. Тобто це спосіб оброблення інденторами розподіленими по всій оброблюваній поверхні рівномірно. Теоретично ізостатичний процес характеризується рівномірним розподіленням тиску всередині робочого об'єму, а в цьому випадку з умовно рівномірними втратами на тертя між сферичними інденторами, які після кожного циклу навантаження займають випадкове положення, внаслідок перемішування. При цьому відбувається збільшення величини мікротвердості поверхневого шару зразка, збільшення ступеня зміцнення, зменшення висоти мікронерівностей. Також можна зробити припущення, на основі досліджень О.П. Кадоценка, що забезпечення ефекту самозмащування при дії на поверхню вільних інденторів проходитиме в більш сприятливих умовах протікання процесу, ніж при обкатуванні. В результаті того, що пори на оброблюваних поверхнях закриватимуться без «зализування» металу в порожнину пори і закриття проходитиме рівномірно по всьому діаметру пори.

Запропонований спосіб реалізується за допомогою пристрою, принципова схема якого зображена на рис. 5.

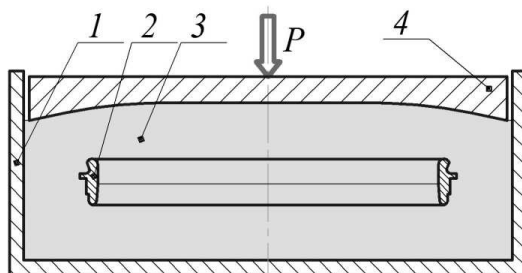


Рис. 5. Принципова схема пристрою для ізостатичного ППД: 1 – робоча камера; 2 – деталь; 3 – сферичні індентори; 4 – поршень

У робочій камері 1 розміщена деталь 2, яка підлягає обробленню, і сферичні індентори (кульки) 3. Поршень 4 служить для створення необхідного зусилля поверхневого пластичного деформування, позначеного на схемі P .

Запропонований спосіб ґрунтується на тому, що при створенні тиску поршнем 4 кульки 3 передають тиск однаково на всі поверхні, які розміщені всередині робочої камери 1. На оброблюваних поверхнях (рис. 6, *a*; *б*) деталей з'являються осередки деформацій у зоні контакту з кульками, рівномірно розподіленими по всій поверхні деталі. Такий рівномірний розподіл сприятиме зменшенню деформацій оброблюваних деталей і підвищенню стабільності геометричної форми (рис. 7).

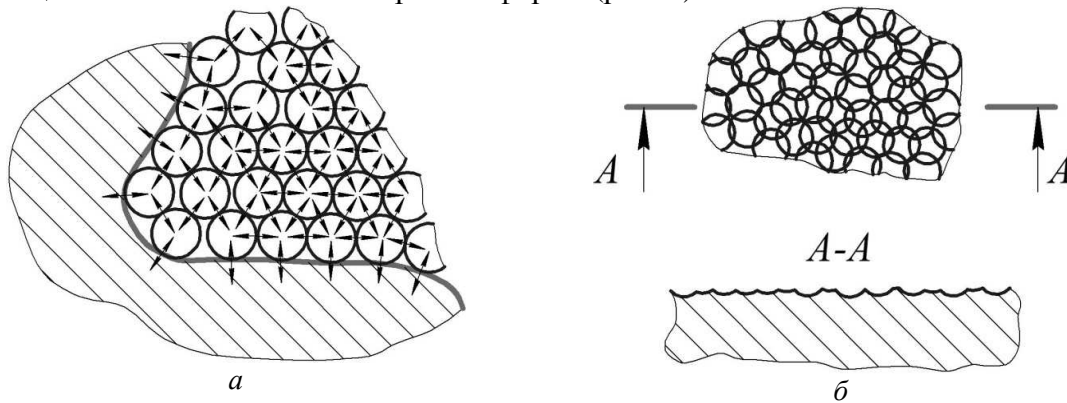


Рис. 6. Схема дії сферичних інденторів на поверхневий шар малої жорсткого кільця:
a – у поперечному перерізі; *б* – вид збоку

При запропонованому способі зміцнення з метою покращення якості поверхні і зменшення тертя між кульками в зону деформації подають змащуючо-охолоджуючу рідину, наприклад, гас або мастило.

Для охоплення силовим впливом всієї поверхні оброблюваної деталі і підвищення інтенсивності наклепу змінюють положення деформуючих кульок відносно оброблюваної поверхні. Це, наприклад, здійснюють накладенням обертального руху з частотою n або вібрацій з частотою f на робочу камеру 1 за відсутності тиску P . Тоді під дією сил інерції або вібрації зміщення кульок і оброблюваної деталі відносно один одного будуть різні в силу різних мас кульок і деталі. Це переміщення можна провести і перемішуванням кульок у робочій камері 1, а також за допомогою витікання деяких кульок з робочої камери. При цьому кульки, які прилегли до оброблюваних поверхонь, будуть займати інше положення. Менш інтенсивне зміщення кульок відносно оброблюваної поверхні буде відбуватися і при ущільненні об'єму кульок у процесі прикладання зусилля P .

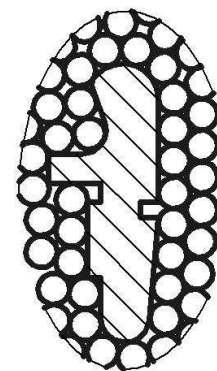


Рис. 7. Схема розміщення інденторів у поперечному перерізі кільця

Застосування цього способу поверхневого зміцнення має такі переваги:

- спосіб може бути застосований для зміцнення поверхонь будь-якої конфігурації в поперечному перерізі і просторі;
- жорсткість конструкції деталі не обмежує режим зміцнення;
- поверхневе зміцнення не викликає викривлення геометричної форми нежорстких деталей;
- спосіб володіє широкою універсальністю і для його реалізації не потрібно складного дорогого обладнання;
- відбувається зміцнення поверхневого шару та закриття пор, але не «зализування», що є більш кращим варіантом для забезпечення ефекту самозмащування.

Для подальшого дослідження ізостатичного ППД і побудови математичної моделі цього процесу, необхідно розглянути розрахункові формули для визначення режимів оброблення. В подальшому за допомогою математичної моделі процесу ізостатичного ППД будуть визначені оптимальні режими проведення оброблення з метою отримання необхідних параметрів якості і регулярного мікрорельєфу поверхонь кілець.

Нині є загальноновизнаним, що основними чинниками, які впливають на показники якості поверхневого шару при обробленні деталей поверхневим пластичним деформуванням, є зусилля деформації і площа поверхні контакту.

Формула для обчислення площі поверхні контакту деталі з інструментом (деталь-індентор) була виведена в роботі [7]:

$$S = 4 \cdot R_{\text{np}} \int_0^b \frac{C(Z)}{\sqrt{R_{\text{np}}^2 - Z^2}} \arcsin \left(\frac{\sqrt{C^2(Z) - (a - R_d)^2} \cdot \sqrt{(a + R_d)^2 - C^2(Z)}}{2 \cdot a \cdot C(Z)} \right) dz. \quad (1)$$

Розглянемо механізм передачі силової дії від робочого штока пристрою через індентори на оброблювану поверхню заготовки (рис. 8). Індентор, що здійснює деформування оброблюваної поверхні, може мати мінімальну кількість зв'язків, яка дорівнює двом. А це означає, що зусилля, яке передається від k_{i-1} індентору на k_i , передається на оброблювану поверхню. Витрати при виконанні роботи деформування будуть залежати від сил тертя, оскільки у процесі деформації існує переміщення інденторів один відносно одного. Вектор сил тертя $F_{\text{тр}}$ буде направлений у бік, протилежний переміщенню.

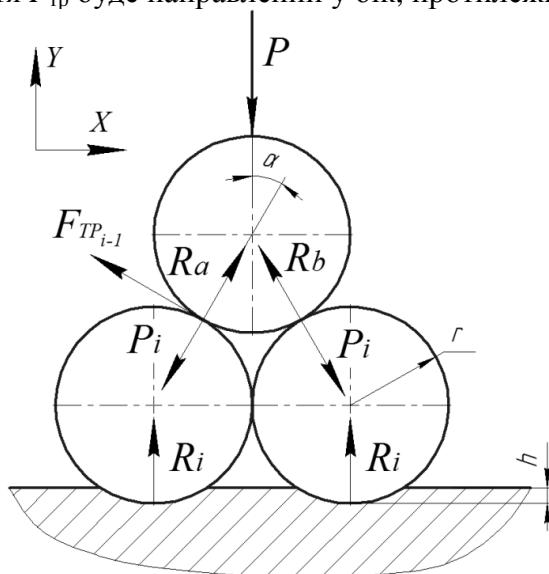


Рис. 8. Механізм передачі силової дії від індентора на оброблювану поверхню

Тоді на оброблювану поверхню буде передано зусилля деформування, яке визначається за формулою:

$$R_i = P_i \cdot \cos \frac{\delta}{2} - F_{\text{тр}i-1} \cdot \cos \frac{\delta}{2}. \quad (2)$$

Реакція R_i взаємодії k_i індентора з оброблюваною поверхнею заготовки може бути визначена з умови рівноваги діючої системи сил. У напрямку дії сили P , що прикладається до витоків, для $i+1$ і i інденторів відповідно будуть справедливі рівності:

$$\begin{aligned} \sum Y &= P - R_a \cdot \cos \frac{\delta}{2} - R_b \cdot \cos \frac{\delta}{2}, \\ \sum Y &= \frac{P}{k} - R_a \cdot \cos \frac{\delta}{2} - R_i, \end{aligned} \quad (3)$$

де k – кількість k_i -тих інденторів, які знаходяться в контакті з k_{i+1} індентором.

Величина кута α між напрямками, що передаються, сил визначається за формулами:

$$\begin{aligned} \delta_{H_{\min}} &= \arcsin \frac{r}{2 \cdot r}; & \delta_{H_{\max}} &= \arcsin \frac{r+x}{2 \cdot r}; \\ \delta_{K_{\min}} &= \arcsin \frac{r+h}{2 \cdot r}; & \delta_{K_{\max}} &= \arcsin \frac{r+h+x}{2 \cdot r}, \end{aligned} \quad (4)$$

де x – величина початкового зазору між двома інденторами в напрямі, перпендикулярному дії сили P ;

r – радіус індентора;

h – глибина впровадження індентора.

Дійсне значення кута α , маючи імовірнісний характер розподілу, буде знаходитися в межах, що визначаються за формулами.

Потрібне зусилля, що передається k_i індентором на оброблювану поверхню і утворюючи відбиток діаметром D_0 , буде пов'язано з твердістю матеріалу HB залежністю:

$$HB = \frac{2 \cdot P_n}{p \cdot D_i \cdot (D_i - \sqrt{D_i - D_0})}, \quad (5)$$

де D_i – діаметр індентора, мм.

Допустима сила взаємодії між інденторами визначається з умови контактної міцності загартованих кульок: $P_{\text{доп}} = 54,5 D_1^2$. Якщо задати коефіцієнти тертя ковзання f і тертя качення μ , можна знайти зусилля на штоку пристрою, яке визначається за формулою:

$$P_{\text{шт}} = \frac{2 \cdot P_n \cdot k_p}{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \left[1 - \frac{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{2} \right] \cdot \left[\frac{M \cdot k_p}{r-h} + (M - k_p) \cdot f \right]}, \quad (6)$$

де k_p – кількість інденторів, що знаходяться в контакті з оброблюваною поверхнею і внутрішньою поверхнею робочої камери;

M – кількість зв'язків між інденторами, які поміщені в робочу камеру.

Знаючи об'єм робочої камери й оброблюваної заготовки кільця можна визначити вірогідну кількість зв'язків між інденторами:

$$M = 6 \cdot k_K \cdot k_{1CB} \cdot k_{2CB}, \quad (7)$$

де k_K – кількість інденторів у камері;

k_{1CB} – коефіцієнт щільності упаковки інденторів у робочій камері;

k_{2CB} – коефіцієнт відносної взаємодії інденторів у робочій камері.

При використанні інденторів малого діаметра створюються умови деформації при підвищеній жорсткості технологічної системи верстат-пристрій-інструмент-деталь. Із зменшенням діаметра інденторів збільшується жорсткість, зменшується піддатливість оброблюваної заготовки, оскільки збільшується кількість точок прикладання сил до поверхні кільця. У площині, перпендикулярній осі кільця, кількість точок прикладання сил визначається з умови:

$$n = \frac{\pi}{\arcsin \frac{r}{R-r}}, \quad (8)$$

де R – внутрішній радіус оброблюваної поверхні кільця.

При малих значеннях кута α , можна користуватися формулою:

$$n = \pi \cdot \left(\frac{R}{r} - 1 \right). \quad (9)$$

При щільній упаковці інденторів відношення між висотою кільця і діаметром інденторів визначається за формулою:

$$H = r \cdot \left((m-1) \cdot \sqrt{3} + 2 \right), \quad (10)$$

де m – кількість прошарків.

Тоді кількість прошарків можна визначити за формулою:

$$m = \frac{H - 2 \cdot r}{r \cdot \sqrt{3}} + 1. \quad (11)$$

Відстань між інденторами в одному шарі при обробленні внутрішньої поверхні:

$$L_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{n} = 2 \cdot R \cdot \arcsin \frac{r}{R-r} \approx \frac{2 \cdot R \cdot r}{R-r}. \quad (12)$$

Відстань між інденторами в одному шарі при обробленні зовнішньої поверхні:

$$L_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot (R-r)}{n} = 2 \cdot (R-2 \cdot r) \cdot \arcsin \frac{r}{R-r} \approx \frac{2 \cdot r \cdot (R-2 \cdot r)}{R-r}. \quad (13)$$

При обробленні плоскої поверхні площа відбитку може бути визначена за формулою:

$$F_0 = \pi \cdot (2 \cdot h \cdot r - h^2). \quad (14)$$

Залежність, запропонована М.М. Саверіним, для дробострумного наклепування, виражає відношення поверхні відбитків, які є слідами інденторів, до всієї оброблюваної поверхні:

$$S = 1 - e^{-bt}, \quad (15)$$

де b – коефіцієнт, що відображає швидкість, з якою оброблювана поверхня покривається слідами інденторів у початковий момент процесу оброблення;

t – час оброблення.

Коефіцієнт b визначається, як тангенс кута підйому початку кривої залежності $S = f(t)$:

$$b = \operatorname{tg}(\beta). \quad (16)$$

Виразимо час оброблення t через кількість циклів навантаження N :

$$t = \frac{N}{\omega}, \quad (17)$$

де ω – кількість навантажень в одиницю часу.

Оброблювана поверхня буде покрита відбитками після першого циклу вантажень на величину, визначувану відношенням:

$$S_{N=1} = \frac{F}{F_0} = \frac{r}{\pi \cdot (2 \cdot h \cdot r - h^2)}. \quad (18)$$

Швидкість, з якою оброблювана поверхня буде покрита відбитками в початковий момент часу:

$$b = \operatorname{tg}(\beta) = \frac{r^2 \cdot \omega}{\pi \cdot (2 \cdot h \cdot r - h^2) \cdot N}. \quad (19)$$

Тоді формула (15) без врахування перетину осередків деформацій може бути записана у вигляді:

$$S = 1 - e^{-\frac{r^2 \cdot \omega}{\pi \cdot N \cdot (2 \cdot h \cdot r - h^2)}} \quad (20)$$

Проте процес взаємодії інденторів з оброблюваною поверхнею носить випадковий характер. Кількість інденторів, що взаємодіють з оброблюваною поверхнею K_Φ , з врахуванням імовірнісного характеру їх розподілу, буде знаходитись між K_{max} і K_{min} :

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\pi \cdot (R-r)}{r} \cdot \left(\frac{L-2 \cdot r}{r \cdot \sqrt{3}} + 1 \right) \right] \leq K_\Phi \leq \frac{\pi \cdot (R-r)}{r} \cdot \left(\frac{L-2 \cdot r}{r \cdot \sqrt{3}} + 1 \right), \quad (21)$$

де L – довжина твірної поверхні криволінійного профілю.

Більш щільна упаковка інденторів в об'ємі робочої камери досягатиметься при найбільших силах тиску і найменшому коефіцієнті тертя між інденторами. Тоді K_Φ наблизитиметься до K_{max} . За умови роботи з ЗОР можна прийняти:

$$K_\Phi = \frac{\pi \cdot (R-r)}{r} \cdot \left(\frac{L-2 \cdot r}{r \cdot \sqrt{3}} + 1 \right). \quad (22)$$

Необхідну кількість циклів навантаження для покриття всієї оброблюваної поверхні осередками деформацій отримаємо при сумісному розв'язанні рівнянь (20) і (22). З врахуванням можливого злиття і перетинів осередків деформації кількість циклів навантаження визначається за формулою:

$$N = K_p \cdot K_\Phi, \quad (23)$$

де K_p – вірогідність злиття і перетину осередків деформацій.

Припуск на оздоблення поверхні кілець з пористих спечених матеріалів становить 0,1-0,15 мм, тому необхідно формувати топографію поверхні з врахуванням шару матеріалу, який знімається. Для того, щоб поверхня добре утримувала мастило, глибина мастилоутримуючих карманів становить 0,05-0,2 мм. Виходячи з цього визначається глибина впровадження індентора: $h = (0,1 - 0,15) + (0,05 - 0,2) = 0,15 \dots 0,35$ мм.

Отримана величина повинна бути скоригована з врахуванням допустимого зносу кілець рівного 0,1-0,2 мм: $h_{min} = 0,25$ мм, $h_{max} = 0,35$ мм.

Характеристика топографії поверхні, одержуваної на окремих етапах оброблення, визначається залежно від геометричних співвідношень інденторів і оброблюваних поверхонь.

Тоді аналогічно формулі (18) відношення площі поверхні, яка підлягає обробленню, до площі, займаної слідами інденторів, становить:

$$S = \frac{F}{F_0} = \frac{\pi \cdot (2 \cdot r \cdot h_z - h_z^2)}{2 \cdot r^2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (24)$$

де h_z – глибина впровадження індентора, скоригована з врахуванням припуску на подальше оброблення.

На основі формули (20) за допомогою математичного пакета MathCAD побудовано графіки залежності відношення площі поверхні, яка підлягає обробленню, до площі, займаної слідами інденторів $S = F/F_0 = f(N)$, від кількості циклів навантаження N для маложорстких крутильних кілець з пористих спечених композицій (рис. 9). Побудова проводилась для трьох випадків: 1) $r = 3$ мм; 2) $r = 4$ мм; 3) $r = 5$ мм. Для всіх досліджень прийнято: $h = 0,3$ мм.

Проведено моделювання топографії оброблюваної поверхні в математичному пакеті MathCAD, зображуючи розподілення плям контакту заготовка-індентор залежно від кількості інденторів, що взаємодіють з оброблюваною поверхнею формула (22) і циклів навантаження (рис. 10). Для всіх досліджень прийнято: маложорстке кільце $R = 60$ мм і

$L = 10,5$ мм, радіус індентора $r = 4$ мм. Побудову проведемо для десятої частини робочої поверхні кільця. Механізм утворення топографії поверхні і розподілення інденторів є випадковим.

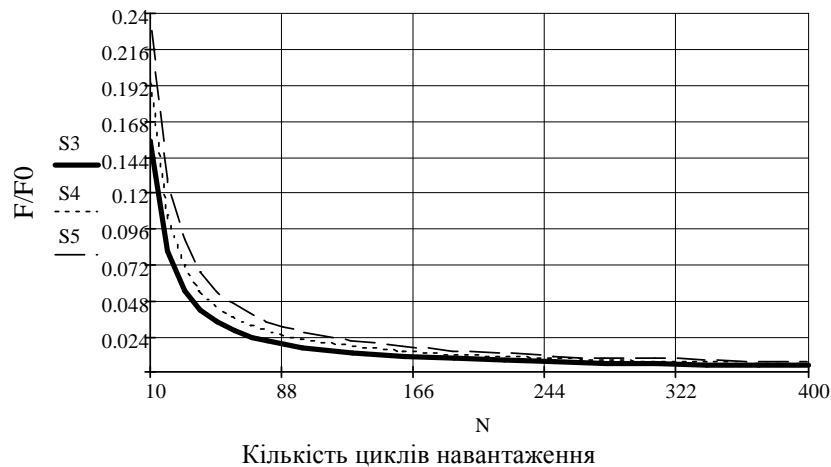


Рис. 9. Залежність відношення площі поверхні, яка підлягає обробленню, до площі, займаної слідами інденторів, від кількості циклів навантаження

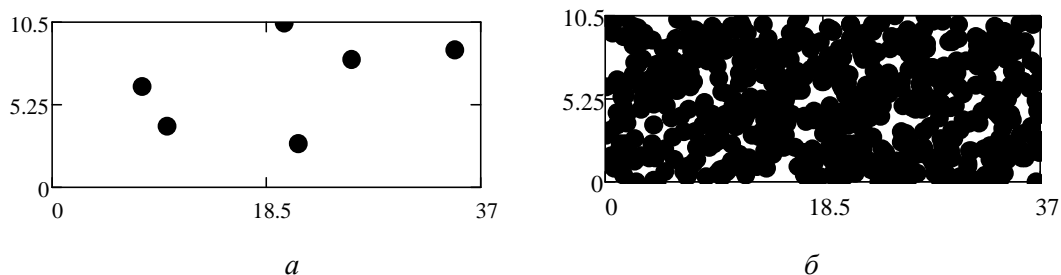


Рис. 10. Топографія оброблюваної поверхні: а – після першого циклу навантаження; б – після 100 циклів навантаження

Проаналізувавши графік (рис. 9) залежності відношення площі поверхні, яка підлягає обробленню, до площі, займаної слідами інденторів, від кількості циклів навантаження і топографію оброблюваної поверхні (рис. 10), можна зробити висновок, що починаючи з 100 циклів навантаження відношення F/F_0 істотно не змінюється. Тобто майже вся оброблювана поверхня кільця покрита слідами інденторів. Подальше оброблення доцільно проводити для збільшення величини мікротвердості поверхневого шару зразка, збільшенням ступеню зміцнення, зменшенням висоти мікронерівностей.

Висновки і пропозиції. Запропонований спосіб поверхневого зміцнення маложорстких кілець з пористих спечених композицій та розроблені пристрої для його реалізації дозволять одержати виріб відмінної якості з потрібними функціональними можливостями. Використання цього способу поверхневого зміцнення підвищує продуктивність опоряджувально-зміцнюючого оброблення. Найбільший економічний ефект може бути отриманий за рахунок широкої універсальності такого способу, тобто він застосовний для обробки заготовок різної конфігурації, для його реалізації не потрібно складного дорогого устаткування. Цей спосіб забезпечує рівномірну якість поверхні на різних ділянках обробки, отриманий мікрорельєф сприятиме кращому утриманню мастила, а, отже, забезпечить зменшення зносу деталей машин, що труться. Застосування розробленого методу на підприємствах машинобудівної галузі дозволить задовольнити потреби текстильної промисловості у крутильних кільцях, які не поступатимуться якістю перед закордонними аналогами і будуть значно дешевшими.

Отримані залежності дають змогу визначення режимів оброблення ізостатичного ППД для забезпечення необхідних параметрів якості поверхонь маложорстких кілець.

У подальшому будуть проведені експериментальні дослідження для ліквідування браку інформації про ізостатичне ППД, а також для розроблення рекомендацій по вибору оптимальних режимів для опоряджувально-зміцнюючого оброблення крутильних і прядильних кілець при пластичній деформації сферичними інденторами з врахуванням експлуатаційних властивостей.

Список використаних джерел

1. *Машиностроение* : энциклопедия / ред. совет : К. В. Фролов и др. – М. : Машиностроение, 1997. – Том IV-13. Машины и агрегаты текстильной и лёгкой промышленности. – 608 с.
2. *Отений Я. Н.* Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий : монография / Я. Н. Отений, Н. Я. Смольников, Н. В. Ольштынский. – Волгоград : ВолгГТУ, 2003. – 136 с.
3. *Руденко П. А.* Разработка и исследование технологических методов повышения качества деталей машин и эффективности их изготовления / П. А. Руденко, О. Н. Чередников. – Чернигов : Черниговский филиал КПИ, 1983. – 36 с.
4. *Отделочные операции в машиностроении* : справочник / П. А. Руденко, М. Н. Шуба, В. А. Оживец, В. И. Мамонтов и др. ; под общ. ред. П. А. Руденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Техника, 1990. – 152 с.
5. *Одинцов Л. Г.* Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
6. *Петросов В. В.* Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструментов / В. В. Петросов. – М. : Машиностроение, 1977. – 166 с.
7. *Чередников О. М.* Геометрия контакту деталь-индентор при обробці поверхневим пластичним деформуванням / О. М. Чередников, О. О. Борисов, О. Г. Семеняко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки» : науковий збірник. – Чернігів : Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. – № 3 (59). – С. 101-108.