

УДК 621.787.4.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУСИЛЛЯ ПРИ ОБКАТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ РОЛИКАМИ

Б.І.Бутаков, доктор технічних наук, професор

В.О.Артюх, інженер

Миколаївський державний аграрний університет

Представлено розроблену методику визначення зусилля обкатування тороподібними, бочкоподібними та циліндричними роликами. З метою запобігання перенаклепу і шолушіння металу, що оброблюється, введено обмеження зусилля обкатування середнім кутом втискання, який не повинен перевищувати 5°.

Представлена разработанная методика определения усилия обкатывания торообразными, бочкообразными и цилиндрическими роликами. С целью предотвращения перенаклепа и шелушения образующегося при обработке металла, введено ограничение усилия обкатывания средним углом вдавливания, который не должен превышать 5°.

Зусилля обкатування в багатосерійному і масовому виробництві визначається дослідним шляхом на пробній партії деталей. В умовах одиничного та мілко серійного виробництва, що характерні для заводів сільськогосподарської техніки, знаходять застосування методи, які дозволяють визначити зусилля обкатування залежно від геометричних розмірів деталі і ролика, а також механічних властивостей матеріалу, що обкатується. Ю.Г. Проскураков на основі експериментальних досліджень запропонував метод розрахунку зусилля обкатування валів і отворів шариком і роликом з прямолінійною утворюючою. Зусилля визначається в залежності від геометричних розмірів ролика і деталі, модуля пружності матеріалу, що обкатується, і максимального тиску в контакті при обкатуванні.

У рекомендаціях щодо вибору зусилля [1, 2, 3] для випадків обкатування циліндричними роликами не враховується діаметр ро-

Вісник аграрної науки Причорномор'я, Випуск 4, 2006

лика і не розглядається можливість зниження зусилля обкатування за рахунок зменшення діаметра ролика.

Вимірювання відбитків, що отримані при різних зусиллях втискання і різних розмірах заготовок і роликів, показали, що форма еліпса, яка характеризується відношенням e/a (рис.1), наближена до форми пружної контактної ділянки, розрахованої за відомими формулами теорії пружності. На рис.1 наведено графік залежності форми відбитку e/a від співвідношення кривизни заготовки і ролика Ω .

В основу розрахунку зусилля обкатування покладено залежність, що пов'язує зусилля втискання кулі з діаметром відбитку, який розраховується за формулою Мейєра.

$$P_{ш} = m d_0^n = m D_{ш}^n \sin^n \varphi, \quad (1)$$

де $P_{ш}$ — сила втискання; d_0 — діаметр відбитка; $D_{ш}$ — діаметр кулі; φ — кут втискання кулі; m — коефіцієнт, що залежить від діаметра кулі і властивостей матеріалу, який оброблюється; n — показник, що характеризує схильність матеріалу до наклепу.

При зміні діаметра кулі, на постійному куті втискання, зусилля змінюється пропорційно площі F відбитка (закон подібності)

$$P/F = P_{ш}/F_{ш} = const. \quad (2)$$

При різних кутах втискання рівність (2) не дотримується, тому що питомий тиск залежить від кута втискання кулі.

Так як відбиток ролика на поверхні деталі має форму еліпса (рис.1), то для порівняння зусилля втискання ролика і кулі умова подібності рівністю середнього кута втискання матиме вигляд:

$$(\varphi_a + \varphi_e)/2 = \varphi, \quad (3)$$

де φ_a, φ_e — кути втискання ролика відповідно у вісьовому і поздовжньому перерізах.

Припустимо, що за умови (3), умови пропорційності площам відбитків записано з урахуванням (1), буде дорівнювати:

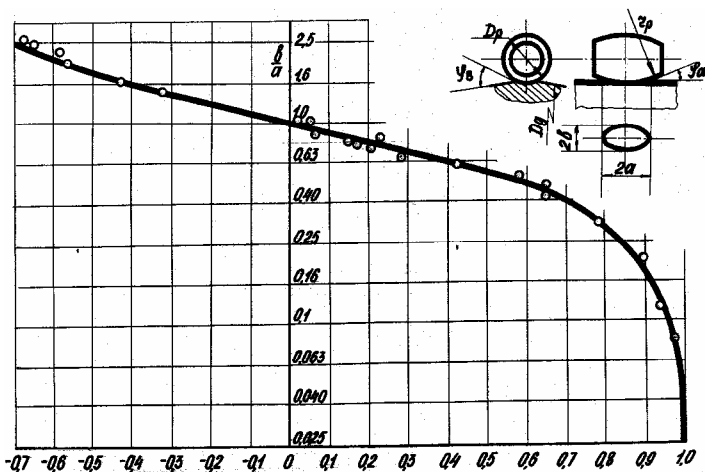


Рис. 1. Залежність форми відбитку від розмірів деталі і ролика

$$P = P_{ин} \left(F / F_{ин} \right) = 4 m D_{ин}^{n-2} \sin \varphi^{n-2} a \nu, \quad (4)$$

де a , ν — піввісі відбитків відповідно у вісєвому і поперечному перерізах.

Для того, щоб зрозуміти механізм самого процесу обкатування поверхні на рис.2 зображено схему послідовного деформування деталі при обкатуванні роликком з поздовжньою подачею [4].

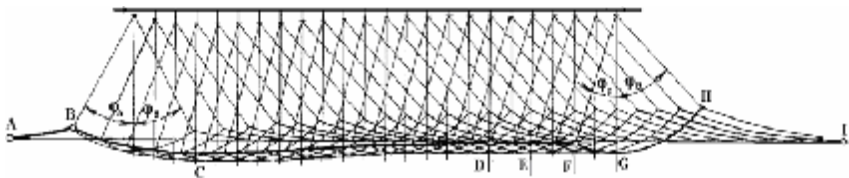


Рис.2. Схема послідовного деформування поверхні деталі при обкатуванні роликком з поздовжньою подачею φ_a – передній кут втискання ролика; φ_z – задній кут втискання ролика; ABC – західна впадина; CD – стабілізація процесу; GHI – хвиля металу перед роликком; EFG – хвиля металу за роликком

При обкатуванні перед роликом виникає хвиля деформованого металу GHI , а розширення контактної канавки приводить до збільшення площі контакту, що обумовлює поступове зменшення глибини канавки при наступних обертах деталі, а на ділянці CD процес обкатування стабілізується.

На всій довжині обкатування до стабілізації процесу деформування в точці D здійснюється зміна кутів втискання ролика φ_a . Після першого оберту вала передній і задній кути втискання в обох крайніх точках дуги контакту, як бачимо на схемі (див. рис.2), були рівномірні. По мірі подачі і поглиблення ролика передній кут втискання φ_a ролика збільшується, а задній кут втискання φ_b зменшується незначно. Це може призвести до явища перенаклепа. Для того, щоб запобігти цьому, для сталених деталей обмежується допустимий середній кут втискання $\varphi = 5^\circ$.

Піввісь відбитку ролика на деталі (рис.1) буде дорівнювати:

$$a = r_p \sin \varphi_a, \quad (5)$$

де r_p – профільний радіус ролика.

Формула (4) перетворена так:

$$P = 4m D_m^{n-2} \sin^{n-2} \varphi \sin^2 \varphi_a \frac{6}{a} r_p^2. \quad (6)$$

Величини постійних m і n , що характеризують властивості матеріалу, який оброблюється, визначено дослідним шляхом.

Основним елементом режиму, що визначає чистовий ефект обкатування, є зусилля. При виводі формули (6) автором роботи [2] застосовано умову подібності, що визначається постійністю середнього кута втискання (4).

З метою перевірки справедливості цієї умови для значно видовжених відбитків, коли $a \gg b$ здійснено експериментальне втискання кульок, тороподібних, бочкоподібних і циліндричних роликів у сталеві зразки з різним зусиллям на пресі Бринеля.

При втисканні циліндричних роликів з метою отримання рівномірної деформації металу по довжині роликів було забезпечено їх самовстановлення по поверхні зразка.

Для того, щоб зменшити вплив концентрації напружень біля кінців циліндричних роликів на величину напружень в середній частині відбитку, де відбувалося вимірювання його ширини, довжина циліндричних роликів була прийнята рівною ширині зразків і в декілька разів перевищувала діаметр роликів.

Після втискання роликів розміри відбитків виміряно на інструментальному мікроскопі с точністю 0,005 мм і розраховано середній тиск, який для колових відбитків є твердістю за Мейєром.

Залежність середнього тиску на відбитку від середнього кута втискання, що визначається рівністю (4), апроксимована рівнянням:

$$HM = \gamma e^{\beta_1 \phi} \phi^{\beta_2} . \quad (7)$$

Прологарифмувавши рівняння регресії, отримаємо:

$$\lg \gamma + \beta_1 \phi \lg e + \beta_2 \lg \phi . \quad (8)$$

Увівши позначення $y = \lg HM$; $e_1 = \beta_1 \lg e$; $e_2 = \beta_2$; $a_1 = \lg \gamma$, будемо мати:

$$y = a_1 + e_1 \phi + e_2 \lg \phi . \quad (9)$$

Отримана залежність середнього тиску на відбитку від середнього кута втискання для сталей різної твердості зображена на рис.3.

Середній тиск тороподібних, бочкоподібних і циліндричних роликів, що визначено при різних середніх кутах втискання, розрахованих за формулою (4), відхиляється від твердості за Мейєром не більше, ніж на 7%. Це дозволяє прийняти при розрахунку зусилля обкатування тороподібними бочкоподібними і циліндричними роликками в якості умови подібності постійність середнього кута втискання.

При обкатуванні деталей бочкоподібними роликками малого діаметра, що дають видовжені відбитки, зусилля і кут ϕ_a можуть бути зменшені, а при відношенні вісей відбитку $e/a < 0,25$ повинні бути зменшені для запобігання шолушінню обкатуваної поверхні в результаті перенаклепу. Початок шолушіння обкатуваної поверхні залежить від механічних властивостей матеріалу, що обкатується,

форми мікронерівностей, умов змащення і режиму обкатування. Обмежуючи середній кут втискання $(\varphi_a + \varphi_e)/2 = \varphi$, можна запобігти шолушінню при більшому або меншому числі проходів.

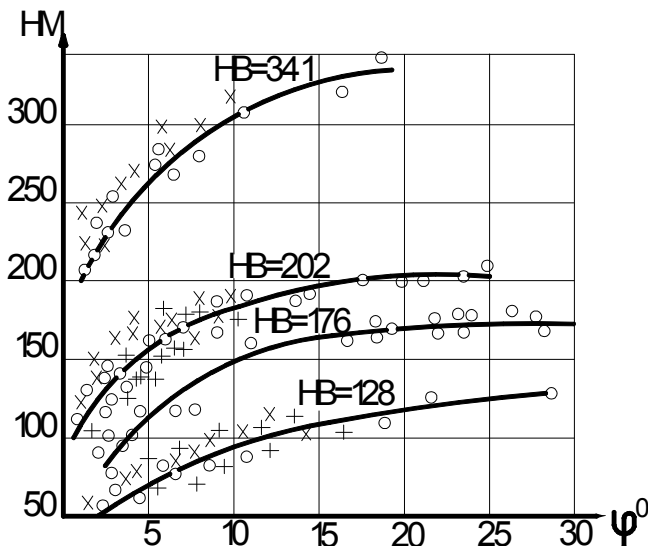


Рис. 3. Залежність середнього тиску на відбитку від середнього кута втискання: \circ – відбитки кульок; \times – відбитки торо і бочкоподібних роликів; $+$ – відбитки циліндричних роликів

Підставивши у формулу (4) значення напівосей a і b , записані з врахуванням малості кутів φ_a і φ_e у вигляді виразів:

$$\left. \begin{aligned} a &= r_p \varphi_a \\ b &= \frac{\varphi_a}{\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_d}} \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

отримаємо:

$$P_1 = \frac{4m D_u^{n-2} \Phi^{n-2} r_p \Phi_a \Phi_\epsilon}{\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_\delta}}. \quad (11)$$

Визначимо значення кутів Φ_a і Φ_ϵ .

Відношення напівосей еліпса відбитку з врахуванням (10)

$$\frac{\epsilon}{a} = \frac{\Phi_\epsilon}{\left(\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_\delta}\right) r_p \Phi_a}. \quad (12)$$

Із спільного розв'язку рівнянь (4) і (11) відносно Φ_a і Φ_ϵ маємо:

$$\Phi_a = \frac{2\Phi}{1 + \frac{\epsilon}{a} r_p \left(\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_\delta}\right)}. \quad (13)$$

$$\Phi_\epsilon = \frac{2 \frac{\epsilon}{a} r_p \left(\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_\delta}\right) \Phi}{1 + \frac{\epsilon}{a} r_p \left(\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_\delta}\right)}. \quad (14)$$

З урахуванням цих значень кутів формула (11) набуде вигляду:

$$P_1 = \frac{16m D_u^{n-2} \Phi^n r_p^2 \frac{\epsilon}{a}}{\left[1 + \frac{\epsilon}{a} r_p \left(\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_\delta}\right)\right]^2}. \quad (15)$$

Підставивши у вираз (15) експериментальні значення $n = 2,3$ і $m = 0,44$ кН/мм², отримаємо при $D_{ш} = 60$ мм для сталі 20:

$$P_1 = \frac{2100 \Phi^{2,3} r_p^2 \frac{\sigma}{a}}{\left[1 + \frac{\sigma}{a} r_p \left(\frac{2}{D_p} \pm \frac{2}{D_d} \right) \right]^2}. \quad (16)$$

За виведеними залежностями побудовано номограму, за допомогою якої можна визначити зусилля обатування залежно від геометричних розмірів деталі, що оброблюється і ролика.

ЛІТЕРАТУРА

1. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Бутаков Б.И. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами // Вестник машиностроения. – 1984. – № 7. – С. 50-53.
3. Бабей Ю.И., Бутаков Б.И., Сысоев В.Г. Поверхностное упрочнение металлов. – К.: Наукова думка, 1995. – 255 с.
4. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1975. – 160 с.