

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ОБРОБКОЮ ІНСТРУМЕНТОМ З ГНУЧКИМИ РОБОЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

У представленій статті визначені співвідношення між пружно-деформованим станом матеріалу, формозміненням та зміцненням поверхневого шару в процесі обробки поверхні металу інструментом з гнучкими робочими елементами. Наведені результати випробувань, які показали, що ефект зміцнення та опір стомленості є достатньо високим.

В представленной статье определены соотношения между упруго-деформированным состоянием материала, формоизменением и упрочнением поверхностного слоя в процессе обработки поверхности металла инструментом с гибкими рабочими элементами. Приведены результаты испытаний, которые показали, что эффект упрочнения и сопротивление усталости является достаточно высоким.

In the article the relationships are determined between elastic-and-strained state of material, change of form and hardening of surface layer in the process of machining of metallic surface by instrument with flexible working elements. The results of tests are presented, which showed that the effect of hardening and the resistance to fatigue are rather high.

Обробка поверхні металу інструментом з нежорсткими робочими елементами, що застосовується у більшості випадків для очистки поверхні деталей і конструкцій засобів транспорту від накопиченого технічного і атмосферного бруду та якісного формування їх поверхневого шару перед нанесенням нового антикорозійного і захисного покриття, щораз набуває широкого визнання і впровадження в залізничних депо України. В першу чергу це пов'язано з екологічно чистою технологією даного процесу, що суттєво відрізняється від традиційно прийнятої технології поверхневої очистки із застосуванням хімічних реактивів.

Технологічний процес обробки ґрунтується на використанні в якості основного інструменту механічних дискових секційних щіток, а особливість обробки полягає в тому, що у процесі механічного контактування робочих елементів з поверхнею деталей відбувається зміцнення матеріалу їх поверхневого шару. В свою чергу, процес зміцнення, викликаний віброударами гнучких робочих елементів, приводить до пластичного деформування поверхні і обмежень в можливостях обробки тонкостінних циліндричних деталей. У наведеній роботі визначене співвідношення між напружено-деформаційним станом матеріалу внаслідок контактної обробки, формозміни і ефективності зміцнення поверхневого шару.

Припускаємо, що при обробці циліндричних тонкостінних деталей гнучкими робочими елементами динамічним ударом (рис. 1, а), дефор-

мований стан поверхневого шару є асиметричним, а напруження – плоским (рис. 1, б). При контактній-зсувній схемі деформування і незначній глибині залишкових відбитків $h_{\text{сл}}$ закономірність розподілення залишкових деформацій ε_{r_0} при товщині пластично деформованого шару $h_{\text{пл}}$ можна приймати лінійною

$$\varepsilon_{r_0} = A \cdot (r_{\text{зн}} - h_{\text{пл}} - r),$$

де A – коефіцієнт, що визначається з умови інтегральної рівності дійсної епюри залишкових деформацій, апроксимованої наведеним рівнянням, і рівний відношенню $A = (2h_{\text{сл}} / h_{\text{пл}}^2)$.

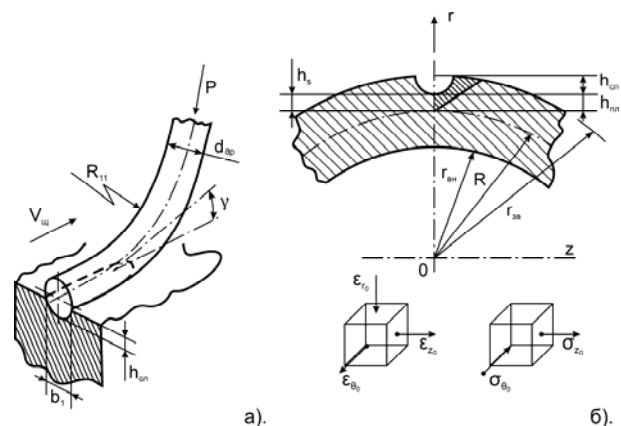


Рис. 1. Схема контактної взаємодії з поверхнею гнучкого робочого елемента (а) і напружено-деформованого стану пластично деформованого шару (б)

Згідно закону Пуассона, супровідні деформації в площині визначаються наступним співвідношенням

$$\varepsilon_{\theta_0} = \varepsilon_{Z_0} = -\mu \cdot r_0 = -\frac{\varepsilon_{r_0}}{2},$$

а напруження визначаються згідно кривої зміцнення, апроксимованої лінійно-ступеневою залежністю, яка враховує складність напружено-деформованого стану [1]

$$\sigma_{Z_0} = \sigma_{\theta_0} = En \cdot \varepsilon_{Z_0} = \frac{E}{1-\mu} \varepsilon_{Z_0} \quad (1)$$

при $\varepsilon_S \geq \varepsilon_{Z_0} \geq 0$;

$$\sigma_{Z_0} = \sigma_{\theta_0} = Kn \cdot \varepsilon_{Z_0}^n = 2^n \cdot K \cdot \varepsilon_{Z_0}^n \quad (2)$$

при $\varepsilon_b \geq \varepsilon_{Z_0} \geq \varepsilon_S$,

де $\varepsilon_S = \left(\frac{K_n}{E_n}\right)^{\frac{1}{1-n}}$ – точка переходу лінійної апроксимації в ступеневу; E_n і K_n – приведені модулі зміцнення, що враховують складність напружено-деформованого стану; E , K та n – відповідно модулі і показники зміцнення, які визначаються із випробовувань на одновісний розтяг; μ – коефіцієнт Пуассона.

Додаючи напруження σ_{Z_0} та σ_{θ_0} по товщині зміцненого шару, отримуємо значення результуючих зусиль P_1 на одиницю довжини периметру

$$P_1 = \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{зв}}} \sigma_{Z_0} dr = E_n \cdot A \frac{h_S^2}{4} + K_n \left(\frac{A}{2}\right)^n \frac{h_{\text{пл}}^{n+1} - h_S^{n+1}}{n+1}. \quad (3)$$

Об'ємні деформації циліндричної деталі під впливом зусилля P_1 відбуваються пружно і викликані початковими напруженнями ε_{Z_0} та ε_{θ_0} , що виникають у зміцненому поверхневому шарі матеріалу. Наведемо рівняння рівноваги для перерізу, нормального до осі Z вздовж її дотичної:

$$2\pi \cdot R \cdot P_1 = 2\pi R \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{зв}}} \sigma_Z dr = 2\pi R \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{зв}}} \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_Z + \mu \cdot \varepsilon_{\theta}) dr; \quad (4)$$

$$LP_1 = L \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{зв}}} \varepsilon_{\theta} dr = L \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{зв}}} \frac{E}{1-\mu^2} \times (\varepsilon_{\theta} + \mu \cdot \varepsilon_Z) dr, \quad (5)$$

де σ_Z , σ_{θ} та ε_Z , ε_{θ} – відповідно осьові і тангенціальні напруження та деформації, що виникають при об'ємному деформуванні силами P_1 ; R і L – радіус по середині товщини деталі (див. рис. 1, б) та довжина деталі (на рис. не показано).

При рівномірній обробці $\varepsilon_Z = l$, тобто є сталою для всіх точок деталі, а $\varepsilon_{\theta} = \omega/R$, де ω – радіальне переміщення.

Для ω та l із наведених рівнянь (4) і (5) визначаємо:

$$\omega = \frac{P_1 \cdot (1-\mu)}{E} \frac{\beta + 1}{2(\beta - 1)}; \quad l = \frac{P_1 \cdot (1-\mu)}{E \cdot H}, \quad (6)$$

де $\beta = (r_{\text{зв}}/r_{\text{вн}})$,

$H = (r_{\text{зв}} - r_{\text{вн}})$.

Отриманий вираз можна застосовувати при зміцненні як зовнішньої $\omega_{\text{зв}}$, так і внутрішньої поверхні $\omega_{\text{вн}}$. При одночасній обробці всіх поверхонь пустотілої циліндричної деталі результати додаються

$$\omega = \omega_{\text{зв}} + \omega_{\text{вн}}.$$

Приріст діаметра деталі ΔD встановлюється наступною рівністю: $\Delta D = 2 \cdot (\omega_{\text{зв}} + \omega_{\text{вн}})$.

ΔD , мм

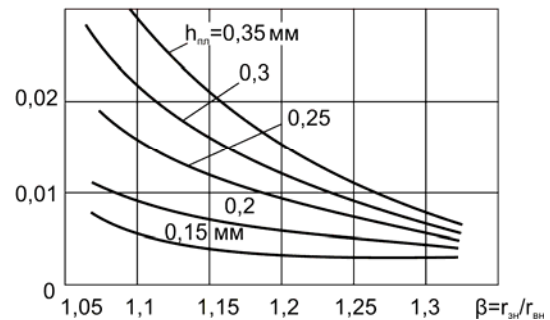


Рис. 2. Графіки зміни $\Delta D = f(h_{\text{пл}}, \beta)$ для деталей із сталі 25 (ГОСТ 1050-88)

Використовуючи залежності (3) і (6), на рис. 2 побудовані графіки $\Delta D = f(h_{\text{пл}}, \beta)$ для циліндричних деталей із низьковуглецевої сталі 25 ($\sigma_B = 380 \dots 460$ МПа, $\sigma_{0,2} = 230 \dots 280$ МПа та

$\delta = 27...23\%$ [2]), обробленої пружними дротинками діаметром (0,6...1,2) мм із сталі 65Г [3].

Залишкові напруження $\tilde{\sigma}_j$, де $j = Z, \theta$, обумовлені алгебраїчною сумою початкових напружень σ_{j_0} і напружень пружної об'ємної деформації σ_j : $\tilde{\sigma}_Z = \sigma_{Z_0} + \sigma_Z, \tilde{\sigma}_\theta = \sigma_{\theta_0} + \sigma_\theta$.

Застосовуючи формули (1), (2) і розв'язуючи вирази (4), (5) відносно $\varepsilon_0 = (\omega/R)$ та $\varepsilon_Z = l$, визначаємо:

$$\sigma_Z = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[(l_{зв} + l_{вн}) + \frac{\mu}{R} (\omega_{зв} + \omega_{вн}) \right] + F; \quad (7)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[\frac{1}{R} (\omega_{зв} + \omega_{вн}) + \mu \cdot (l_{зв} + l_{вн}) \right] + F, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{де } F = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot & \left[(1+\mu) \frac{h_{зв}}{h_{пл.зв.}^2} \cdot (r_{зв} - h_{пл.зв.} - r_1) - \right. \\ & \left. - (1+\mu) \frac{h_{вн}}{h_{пл.вн.}^2} \cdot (r_{вн} + h_{пл.вн.} - r_3) \right] + \\ & + 2^n K \cdot \left\{ \left[\frac{h_{зв}}{h_{пл.зв.}^2} \cdot (r_{зв} - h_{пл.зв.} - r_2) \right]^n - \right. \\ & \left. - \left[\frac{h_{вн}}{h_{пл.вн.}^2} \cdot (r_{вн} + h_{пл.вн.} - r_4) \right]^n \right\}, \quad (9) \end{aligned}$$

де, в свою чергу, члени виразу з індексами «зв» та «вн» відносяться відповідно до обробки зовнішньої та внутрішньої поверхонь циліндричної деталі, а значення r перебуває в межах:

$$r_{зв} - h_{пл.зв.} + h_S \geq r_1 > r_{зв} - h_{пл.зв.};$$

$$r_{зв} \geq r_2 \geq r_{зв} - h_{пл.зв.} + h_S;$$

$$r_{вн} + h_{пл.вн.} - h_S \geq r_3 \geq r_{вн} - h_{пл.вн.};$$

$$r_{вн} \geq r_4 \geq r_{вн} + h_{пл.вн.} - h_S.$$

Ефективність зміцнення поверхні тонкостінних деталей механічним інструментом з гнучкими робочими елементами (пружинний дріт діаметром (0,6...1,2) мм із сталі марки 65Г) оцінювалась згідно випробовувань на стомленість торовидних зразків діаметром (12...36) мм з радіусом тора 50 мм. Дослідження проводились на горизонтально-фрезерувальному верстаті мод. 6Т804Г з частотою обертання шпинделя в межах (800...2100) хв.⁻¹ та горизонтальним переміщенням зразка (25...80) мм/хв. Товщина утвореного наклепаного шару становила (0,18...0,3) мм.

Результати випробовувань показали, що опір стомленості дослідних зразків, оброблених при різних режимах, практично співпадають. При цьому ефект зміцнення достатньо високий (границя витривалості зросла на 13,5 %, а довговічність – майже у 8 разів).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шалин, В. Н. Расчеты упрочнения изделий при их пластической деформации [Текст] / В. Н. Шалин. – М.: Машиностроение, 1971. – 192 с.
2. Лахтин, Ю. М. Материаловедение [Текст] / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Куліченко, А. Я. Термомеханічна поверхнева очисно-зміцнююча обробка металу [Текст] / А. Я. Куліченко. – Львів: Кобзар, 1997. – 216 с.

Надійшла до редколегії 23.06.2008.