

УДК 621.822

С.А.Мороз

Луцький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ФОРМОУТВОРЕННЯ МІКРОГЕОМЕТРІЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ЗМІЦНЮВАЛЬНО-ВИГЛАДЖУВАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ

Розглянуто виведення математичної моделі пружної системи формоутворення мікрогеометрії поверхні при зміцнювально-вигладжувальній обробці. Наведені результати експериментальних досліджень обробки вигладжуванням деталей приладів і порівняння їх з розрахунковими даними.

Ключові слова: математична модель, зміцнювально-вигладжувальна обробка, пружні деформації

Для фінішної обробки робочих поверхонь деталей машин та механізмів використовується шліфування, доводка, хонінгування тощо. Серед них варто виділити зміцнювально-вигладжувальну обробку. Суть даної обробки полягає у тому, що метал не знімається з заготовки, а розгладжується. Таким чином відбувається зменшення шорсткості поверхні та зміцнення поверхневого шару.

Перебіг процесів, які відбуваються при вигладжуванні є досить складний. При силевій дії вигладжувального інструменту на оброблювану поверхню в першопочатковий момент створюється відбиток інструменту, який потім перетворюється в прилеглі один до одного сліди. При навантаженні вигладжувача силою P (рис 1, а) він втискується в оброблюваний матеріал: по мірі збільшення сили P спочатку відбувається пружна деформація поверхні, а потім пластична (лінія OAB , рис 1, б). Внаслідок виникнення пластичних деформацій обернений процес йде по лінії BC . Кінцева пластична деформація виражається в розмірі відбитку d , який відповідає відрізку OC .

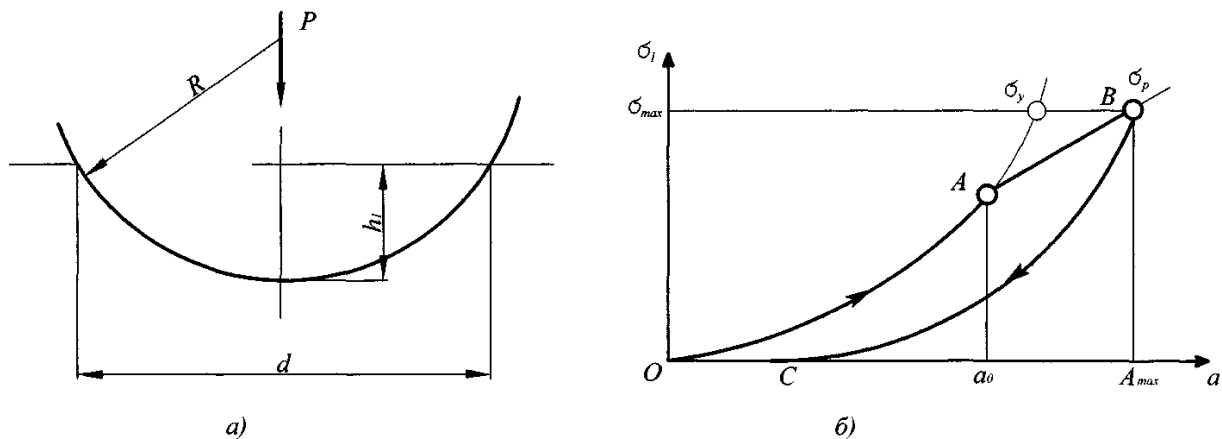


Рис. 1. Рух металу при втискуванні сферичного вигладжувача

Обробка зміцнювально-вигладжувальними операціями супроводжується складними структурними та фазовими перетвореннями, які характерні для формування поверхневого шару. В першопочатковий момент відбувається дроблення зерен металу на блоки (поліганізація) та утворюється мозаїкова структура. Далі внаслідок підсилення розвитку зсувів по площинах ковзання створюються нові, значно подрібненні зерна. При цьому кристаліти втрачають свою глобійдну форму, сплющуються, витягуються в напрямі деформування. Різко змінюється відношення їх розмірів, утворюється впорядкована орієнтована структура волокнистого характеру з анізотропними механічними властивостями, коли пластичність вздовж волокон вища, ніж в поперечному напрямі [1].

Для прогнозування шорсткості поверхні після вигладжувальної обробки введемо математичну модель пружної системи формоутворення мікрогеометрії поверхні, яка б враховувала як технологічні фактори обробки вигладжуванням, так і стан поверхні до вигладжування.

Для розрахунку шорсткості при вигладжуванні за спрощених умов використовується аналітична залежність (1):

$$R_z = \frac{s^2}{8 \cdot R_A}, \quad (1)$$

де, s – подача, R_b – радіус вигладжувача

В процесі вигладжування відбувається пружна деформація матеріалу. Найбільшу деформацію має матеріал в точці А, тобто у центрі впадини. В точці В, яка знаходиться на вершині гребеня, деформація мінімальна. Тобто, після пружного відновлення матеріалу висота мікронерівностей буде відрізнятися від значення R_z , яке визначено з виразу (1). Ця відмінність повинна бути рівною різниці за величиною пружної деформації матеріалу в точках А і В.

При врахуванні пружної та пластичної деформації під час вигладжування формула (1) набуде вигляду:

$$R_z = \left[\frac{s^2}{8R_A} - (\omega_A - \omega_B) \right], \quad (2)$$

де ω_A та ω_B - значення пружної деформації металу відповідно в точках А та В відповідно.

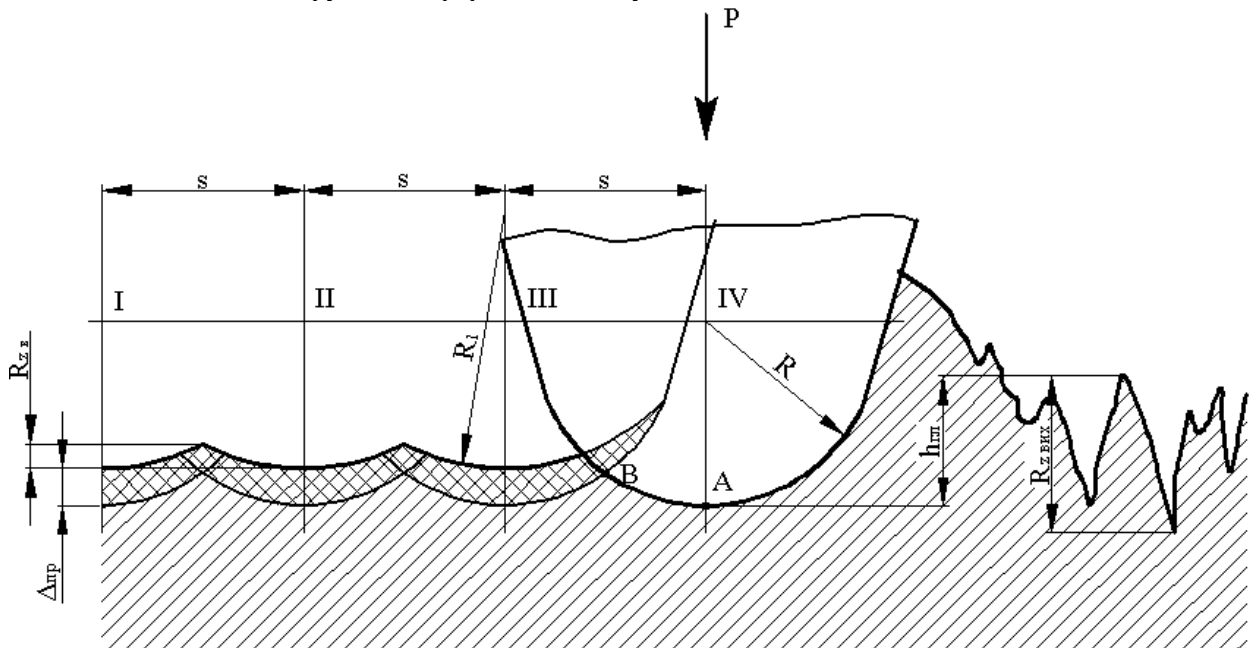


Рис. 2. Схема для розрахунку висоти мікронерівностей при вигладжуванні

Пружна деформація вершини та впадини гребенів може бути наближено визначена з допомогою задачі Герца. Відомо, що при пружному контакті двох тіл зміщення (ω_A та ω_B) від місцевої деформації точок першого та другого тіла в напрямі дії сили визначається виразом

$$\omega_1 + \omega_2 = \alpha - \beta \cdot x^2, \quad (3)$$

де x – відстань точок, які розглядаються від осі (від центру); α – постійна величина, яка залежить від радіуса кривизни; β – кут зближення двох тіл.

В точці А $x=0$ і, відповідно $\omega_1 + \omega_2 = \alpha$.

При однакових пружних властивостях обох тіл $\omega_1 = \omega_2 = \omega$; $2\omega = \alpha$. Тому $\omega_A = \frac{\alpha}{2}$. Для

точки В можна записати $\omega_B = \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \beta \cdot \delta^2$.

Різниця у величині пружної деформації вершини і впадини гребеня буде рівна $\omega_A - \omega_B = \frac{1}{2} \beta \cdot \delta^2$. Якщо врахувати що $\delta = \frac{s}{2}$, то $\omega_A - \omega_B = \beta \frac{s^2}{8}$.

Дослідженнями встановлено, що внаслідок пружного відновлення, яке відбувається за деформуючим вигладжувачем, радіус впадини R_1 більший радіуса інструмента R_B . Це підтверджується проведеними експериментами.

Для даного випадку (рис. 2), стала $\beta = \frac{R_1 - R_B}{2R_1 \cdot R_B}$. Величину R_1 можна представити виразом

$R_1 = kR_B$, де k – коефіцієнт, який характеризує збільшення радіуса впадини. Тоді $\beta = \frac{k-1}{2k \cdot R_B}$,

підставивши β у формулу різниці пружної деформації вершини і впадини гребенів отримаємо аналітичну залежність:

$$\omega_A - \omega_{\hat{A}} = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{s^2}{16R_B} \quad (4)$$

Висота мікронерівностей з врахування пружної деформації визначається з виразу:

$$R_z = \left[\frac{s^2}{8R_{\hat{A}}} - \frac{(k-1)}{k} \cdot \frac{s^2}{16R_{\hat{A}}} \right] = \frac{s^2}{8R_{\hat{A}}} \left(1 - \frac{k-1}{2k} \right) \quad (5)$$

Для точнішого визначення шорсткості у формулу (5) потрібно ввести коефіцієнти, які враховують технологічні фактори при обробці вигладжуванням та величину мікронерівностей до вигладжування, та:

$$R_z = \frac{s^2}{8R_B} \left(1 - \frac{k-1}{2k} \right) k_\epsilon k_p k_z, \quad (6)$$

де s – подача інструменту при вигладжуванні; R_B – радіус вигладжувача; k – коефіцієнт, який характеризує збільшення радіуса впадин ($k=1,5-2,6$); k_ϵ – коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей металу ($k_\epsilon=1,1-2,1$); k_p – коефіцієнт, який залежить від зусилля вигладжування ($k_p=1$, при оптимальній силі вигладжування); k_z – коефіцієнт, який залежить від величини $R_{z_{вих}}$ поверхні до зміцнювально-вигладжувальної обробки.

Для підтвердження виведеної математичної моделі були проведені експериментальні дослідження впливу технологічних факторів зміцнювально-вигладжувальної обробки зразків із сталі ШХ-15 на шорсткість вигладженої поверхні. Була встановлена залежність шорсткості поверхні R_z від подачі s при вигладжуванні та впливу сили вигладжування на шорсткість поверхні. Дослідження проводилися на зразках із сталі ШХ-15 при різних технологічних режимах.

Аналіз даних експериментальних досліджень дає основу для наступного висновку. Оптимальна подача вигладжування, для даного випадку, лежить в межах 0,05 – 0,15 мм/об. Збільшення або зменшення величини оптимальної подачі призводить до погіршення шорсткості вигладженої поверхні. Аналогічний висновок є стосовно сили вигладжування, оптимальна величина лежить в межах 100-300Н (рис. 5,б). Збільшення або зменшення величини сили вигладжування призводить до погіршення шорсткості вигладженої поверхні. Якщо зусилля вигладжування недостатнє, то мікронерівності поверхні не зминаються повністю (рис. 5,а), а якщо більше оптимального – поверхня руйнується внаслідок структурних зрушень в поверхневому шарі (рис. 5,в) [2].

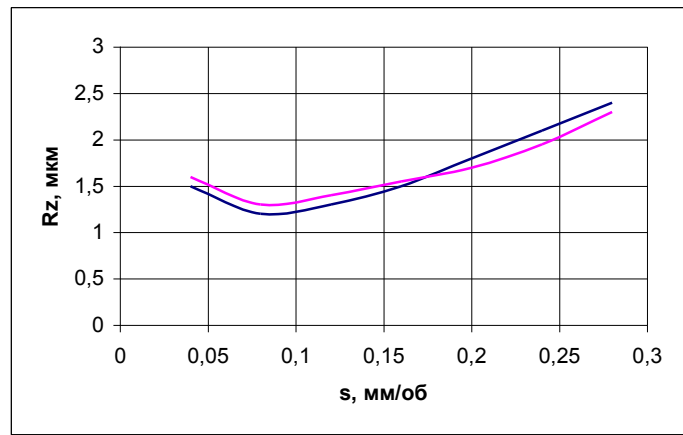


Рис. 3. Залежність шорсткості поверхні R_z від подачі s при вигладжуванні (1 - сталь ШХ15, $P=100\text{Н}$, $R=1,5\text{мм}$; 2 - сталь ШХ15, $P=250\text{Н}$, $R=1,5\text{мм}$)

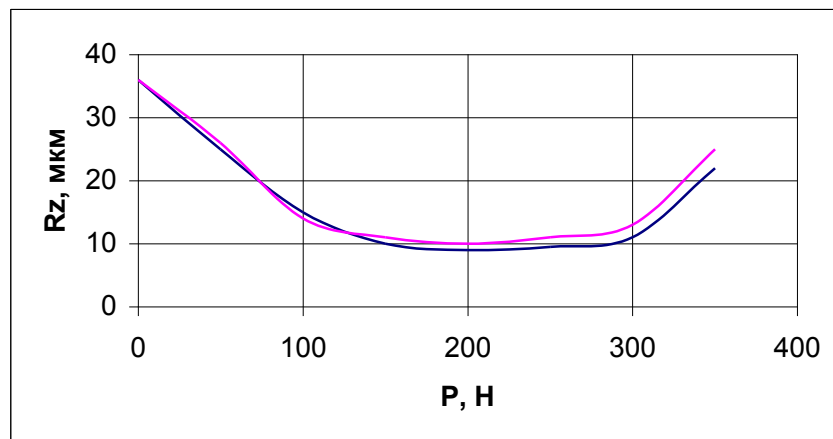


Рис. 4. Вплив сили вигладжування на шорсткість поверхні (1 - $R_b=1,5\text{мм}$, сталь ШХ15, $n=650\text{об/хв}$, $s=0,08\text{мм}$; 2 - $R_b=1,5\text{мм}$, сталь ШХ15, $n=650\text{об/хв}$, $s=0,12\text{мм}$)

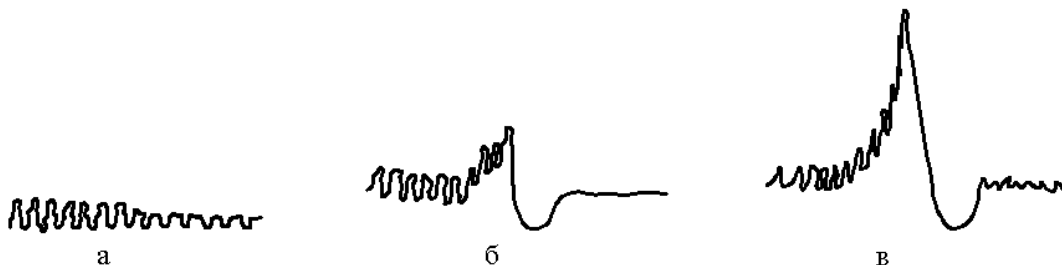


Рис. 5. Схема утворення мікрогеометрії поверхні при різних силах вигладжування

При порівнянні результатів експериментального дослідження із теоретичними розрахунками за математичною моделлю пружної системи формоутворення похибка складала 3-7%. Таким чином дану математичну модель пружної системи формоутворення мікрогеометрії поверхні при зміцнювально-вигладжувальній обробці можливо застосувати для прогнозування вихідної шорсткості.

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328с.
2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М: Машиностроение, 2002, – 299 с.