

ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМУ ДЕФОРМУЮЧОМУ ПРОТЯГУВАННІ

Розглянуто змінання мікронерівностей при малоцикловому деформуючому протягуванні. На основі експериментальних даних по моделюванню й реальному змінанню мікронерівностей отримані аналітична й графічна залежності параметрів шорсткості поверхні від контактного тиску, які рекомендуються для технологічних розрахунків.

Процес формування шорсткості обробленої поверхні при деформуючому протягуванні досліджений у ряді робіт [1–5 та ін.], однак всі ці дослідження носять переважно експериментальний характер, що дозволяє прогнозувати значення Ra на стадії проектування технологічного процесу лише якісно.

Відомо, що на процес формування мікрорельєфу впливає ряд факторів: нормальні контактні напруги, сила тертя, фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, геометричні розміри заготовки й ін. Вплив сил тертя добре проявляється при великій кількості циклів деформування [6]. При малій кількості циклів деформування, як показує аналіз експериментальних даних [1], впливом сил тертя можна зневажити.

Метою цих досліджень є розробка теоретичної моделі формування мікрорельєфу обробленої поверхні при малій кількості циклів деформування й визначення граничних умов її застосування, що дозволяє кількісно прогнозувати Ra на етапі проектування технологічної операції.

Деформуюче протягування отворів у значному числі випадків здійснюється по попередньо розточеній поверхні заготовки [3]. У цьому випадку її мікрорельєф представляє практично регулярну структуру чергування западин і виступів. При малому числі циклів обробки основне деформування вихідних мікронерівностей відбувається шляхом їхнього змінання здавлюванням без масопереносу [1].

Для одержання теоретичної залежності висоти мікронерівностей від режимів обробки були проведені експериментальні дослідження пластичного стиску моделей мікронерівностей у вигляді крешерів різних форм, виготовлених з різних матеріалів. Дослідженнями встановлено, що пластична область зберігає геометричну подобу до значних ступенів змінання для кожного матеріалу. У цих межах середня контактна напруга σ_n в зоні контакту інструмента із крешерами залишається постійною. Її величина становить для: сталі 10 - 1280 МПа, У8 - 2170 МПа, Х18Н10Т - 1740 МПа, міді - 530 МПа, сталі 45 - 1960 МПа.

Мікрорельєф поверхні заготовки (рис.1) складається з виступів різних по висоті R_i , але однакової форми. Ширина основи i -ої мікронерівності $l_{oi} = \alpha \cdot R_i$, де $\alpha = 2 \operatorname{tg} \Theta$ - коефіцієнт пропорційності. Тоді з умови збереження геометричної подоби пластичної області:

$$l_{ki} = \beta \cdot \Delta R_i, \quad (1)$$

де, β - відношення величини змінання до ширини площі змінання при стиску гребінця, визначається експериментально.

Експериментально встановлено, що для довгих трикутних призм (відношення довжини до висоти дорівнює 10:1) з $\Theta = 90^\circ$ величина $\beta \approx 2,9$; а для конусів і пірамід з $\Theta = 53^\circ - 120^\circ$ величина $\beta \approx 2,5$.

Площа основи виступу $A_{oi} = \gamma \cdot l_{oi}^\varphi$, де показник ступеня для довгого призматичного виступу $\varphi = 1$, для конуса й піраміди $\varphi = 2$, а для інших форм мікровиступів $1 \leq \varphi \leq 2$.

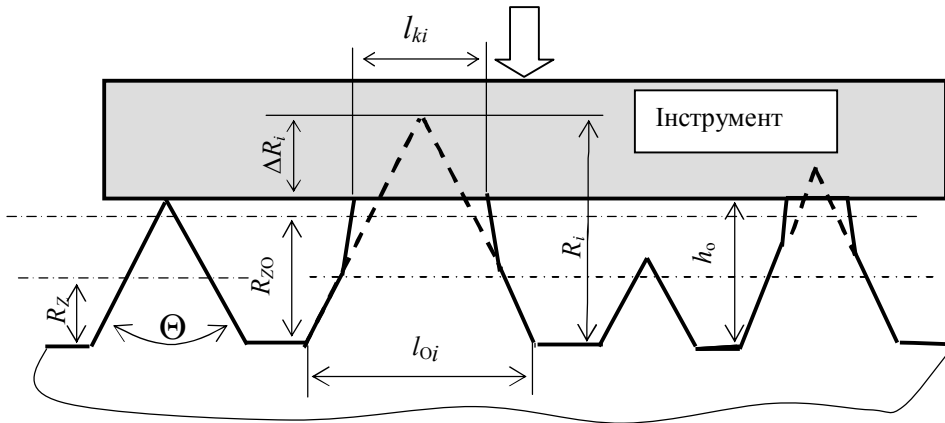


Рис. 1. Теоретична модель змінання мікронерівностей жорстким штампом

Тоді

$$A_{oi} = \gamma \cdot (\alpha \cdot R_i)^\varphi = \gamma \cdot \alpha^\varphi \cdot R_i^\varphi, \quad (2)$$

де $\gamma \cdot \alpha^\varphi$ в розглянутій задачі є величина постійна.

Згідно [6, 7] розподіл R_i підкоряється нормальному закону:

$$f(R) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(R-a)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

з дисперсією $\sigma = (R_{\max} - R_{\min})/5$; а величина математичного очікування a дорівнює вихідній шорсткості R_{zo} (рис. 2).

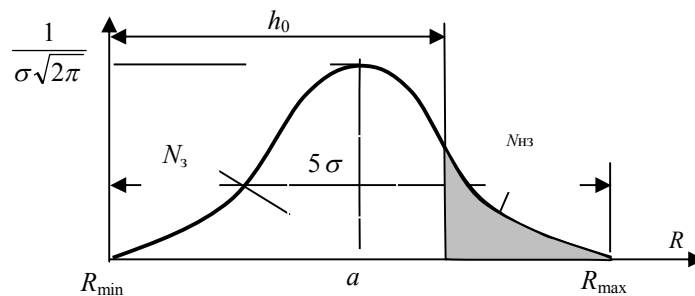


Рис. 2. Розподіл висот мікронерівностей

Позначимо число зім'ятих мікронерівностей як N_3 ; число незім'ятих мікронерівностей - $N_{нз}$; висоту, до якої відбувається змінання - h_0 .

Прийmemo умову, що загальне нормоване число виступів на номінальній площі A становить $N = 1$.
Сумарна площа основ виступів

$$A_0 = \sum_1^N A_{oi} = \omega A, \quad (4)$$

де коефіцієнт $0 \leq \omega \leq 1$ враховує щільність "упакування" основ мікровиступів на площі A .

Згідно даним [1,7,8] коефіцієнт щільності заповнення $\omega \approx 0,5 \div 0,6$.

Нехай інструмент зім'яв частину мікронерівностей до висоти h_0 . Тоді число зім'ятих мікронерівностей дорівнює:

$$N_3 = \int_{h_0}^{R_{\max}} f(R) dR, \quad (5)$$

а число незім'ятих:

$$N_{\text{нз}} = \int_{R_{\min}}^{h_0} f(R) dR \quad (6)$$

де $N = N_3 + N_{\text{нз}} = 1$.

Після перетворень одержуємо залежність між номінальним контактним тиском і величиною шорсткості обробленої поверхні:

$$q = k\sigma_n \omega \left(\int_{h_0}^{R_{\max}} (R-h_0)^\psi f(R) dR \right) / \left(\int_{R_{\min}}^{R_{\max}} R^\varphi f(R) dR \right), \quad R_z = \left(\sum_i^N R_i \right) / N = \int_{R_{\min}}^{h_0} R f(R) dR + h_0 \int_{h_0}^{R_{\max}} f(R) dR,$$

де h_0 - висота зім'ятих мікронерівностей, а один інтегральний коефіцієнт $k = \frac{\text{об}^{\text{III}}}{\text{гб}^\varphi}$ враховує всі фактичні дослідні дані геометрії мікрорельєфу, що змінюється. Його встановлюють обробкою відповідних експериментальних даних по профілограмам поверхонь, що змінюються. Наприклад, для конічних і пірамідальних виступів (моделювання обробки поверхні шліфуванням) з $\Theta = 90^\circ$, $\varphi = \psi = 2$, $\omega = 0,5$, $\alpha = 2$, $\beta = 2,5$, $\xi = \gamma = 0,8$ і одержуємо $k = 1,56$; для призматичних виступів (струганням і точінням) з $\Theta = 90^\circ$; $\varphi = \psi = 1$; $\alpha = 2$, $\beta = 2,9$; $\xi = \gamma = 1$; одержуємо $k = 1,44$. У середньому можна прийняти $k = 1,5$.

Обробкою експериментальних даних і з урахуванням результатів наведеного вище аналізу отримана залежність між значенням R_z , контактним тиском, фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу й характером вихідного мікрорельєфу:

$$\frac{R_z}{R_{z0}} = \exp \left[1,15 \left(\frac{q}{\omega \sigma_n} \right)^2 - 1,538 \exp \left(\frac{q}{\omega \sigma_n} \right) + 1,517 \right] \quad (7)$$

У даному виразі фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу характеризує величина σ_n . Однак, проведений аналіз показав, що з достатньою для інженерних розрахунків точністю замість σ_n можна застосовувати значення твердості за Брінеллем [6].

Перевірка запропонованої методики й визначення граничних умов її застосування проводилися порівнянням розрахункових і експериментальних даних, отриманих при багатоциклового деформуючому протягуванні заготовок різних розмірів, з різних марок сталей, з різним характером і величиною вихідної шорсткості із застосуванням різних технологічних змащень. При обробці деталей зі сталі X18H10T (діаметр отвору $d_0 = 35$ мм, товщина стінки $t_0 = 7$ мм), отриманих з холоднотягнутої труби із внутрішньою поверхнею без попередньої механічної обробки, а також деталей, виготовлених токарною обробкою із прутка, застосовувалися інструменти із ВК 15.

При обробці деталей з X18H10T у якості технологічних змащень використовувалися зразки, розроблені Куйбишевською філією Всесоюзного НДІ по переробці нафти м. Новокуйбишевск [10]. При цьому натяг на деформуючий елемент становив 0,2 мм, вихідна шорсткість внутрішньої поверхні деталей – Ra (2,1–2,6), Rz (8,6–10,6). Склад змащень наведений у таблиці.

Таблиця

Состав застосовуваних технологічних змащень (мас. %)

Номер зразка	248	251	252	256	260
Склад					
Мінеральне масло	74	46	36	61	68

Присадка КП 10	16	24	24	14	14
Присадка, що містить хлор Л-3-318	10	--	—	10	5
Хлорований парафін ХП470	--	30	30	--	—
Ланолін	--	—	10	15	10
Присадка, що містить фосфор	--	—	--	—	3
В'язкість кінематична при 100°C (мм ² /с)	54,5	53	53	54	54

Аналізом профілограм внутрішньої поверхні визначено $\omega = 0,8$. Результати у вигляді залежностей Rz від безрозмірного контактного тиску $q' = q/(\omega HB)$ при обробці деталей з холоднотягнутої труби наведені на рис. 3, а. Як видно з наведених даних, у всьому дослідженому діапазоні висота мікронерівностей, отримана розрахунком, практично збігається з отриманою експериментально. Необхідно однак відзначити, що сталь X18H10T при обробці деформуючим протягуванням із застосуванням рідких мастил має підвищену схильність до схоплювання із твердосплавними деформуючими елементами, внаслідок чого зазначені вище зразки змащень були розроблені спеціально для обробки нержавіючих сталей холодним пластичним деформуванням. Проте перші ознаки схоплювання в проведених дослідках спостерігалися після 3–4 циклів деформування, що неминуче приводило до збільшення шорсткості обробленої поверхні. Отже, для аналізу точності запропонованої методики правомірно розглядати зміну Rz на перших трьох циклах деформування, що відповідає $q'=2$. На цій ділянці значення Rz , отримані експериментально й теоретично, практично збігаються.

При обробці деталей з попередньо розточеним отвором вихідна шорсткість внутрішньої поверхні становила $Ra\ 2,7$ ($Rz\ 11$). У цьому випадку використовувалися тільки зразки 251 і 252, що показали

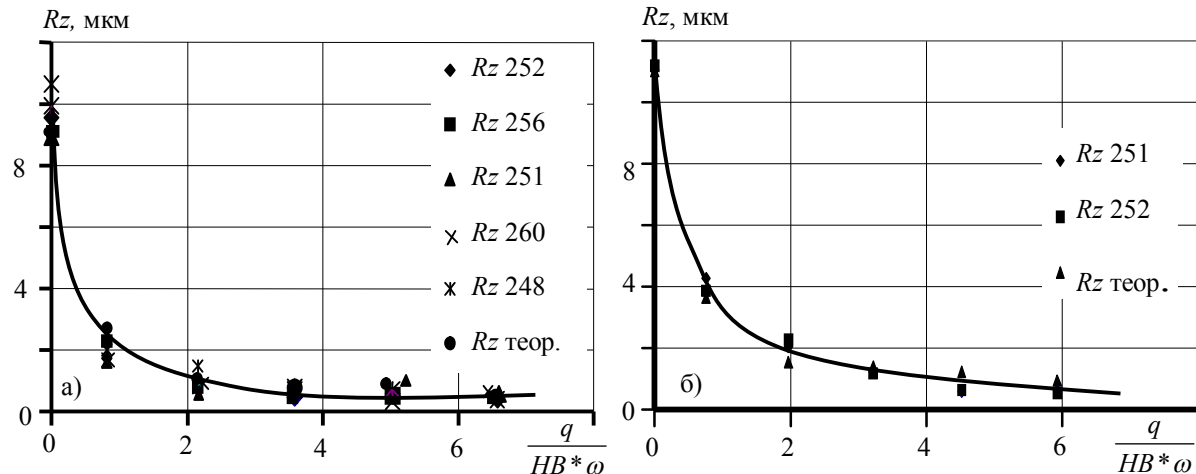


Рис. 3. Залежність висоти мікронерівностей Rz від безрозмірного контактного тиску при деформуючому протягуванні деталей зі сталі X18H10T ($HB\ 164$), виготовлених з холоднотягнутої труби (а) і після розточування $S = 0,21$ мм/об (б)

найкращі екрануючі властивості при деформуючому протягуванні деталей зі сталі X18H10T. Розточення проводилося гостро заточеним різцем при подачі $S = 0,1$ мм/об. Аналізом профілограм розточеної поверхні визначено $\omega = 0,9$. Значення Rz , отримані розрахунком і експериментально, наведені на рис. 3, б. Як видно, вони ідентичні отриманим при обробці деталей з холоднотягнутої труби без попередньої механічної обробки.

Необхідно також відзначити, що застосування запропонованої методики повинне обмежуватися умовою, коли $\sigma_n = F/A_k = \text{const}$, тобто, коли пластична зона не виходить за межі мікронерівності, що змінюється, що визначається її висотою й геометрією. При порушенні даної умови при обробці деталей з кінцевою товщиною стінки значення Rz , отримані розрахунком, повинні бути менше експериментальних. Як показує практика, у процесі деформуючого протягування можливе інтенсивне зниження висоти мікронерівностей [1], що неминуче приведе до виходу пластичної зони за їхні границі після 1 – 3 циклів деформування. На рис. 4 наведені профілограми, що показують зміну форми одиничної мікронерівності в процесі обробки [1]. У цьому випадку оброблялася деталь зі сталі 20, тих же розмірів, що й у попередньому досліді натягом $a = 0,05$ мм. Очевидно, що в процесі другого циклу деформування пластична зона неминуче вийде за межі мікронерівності, що змінюється, що приведе до

відмінностей між експериментальними й отриманими розрахунком за запропонованою методикою значеннями висоти мікронерівностей.

Для перевірки даного припущення були оброблені деталі зі сталі 45 і сталі 10 різної шорсткості ($d_0 = 35$ мм, $t_0 = 7$ мм). Як технологічне змащення використовувався сульфозфрезол. Шорсткість поверхні отвору першої пари деталей становила Ra 10 мкм (Rz 40 мкм), другої – Ra 2,7 мкм (Rz 11 мкм). Розміри деталей і режими обробки залишалися тими ж, що й у попередньому експерименті. Результати наведені на рис 5. Як видно, при більшій вихідній шорсткості після другого циклу деформування значення, отримані розрахунком, більше експериментальних (рис. 5, а). При обробці зразків меншої шорсткості (рис. 5, б) після другого циклу деформування експериментальні значення перевищують розрахункові (рис. 5, б). Крива на рисунку 5, б представлена в напівлогарифмічних координатах. У даному експерименті схоплювання оброблюваного матеріалу з інструментом було відсутнє. Отримані результати підтверджують припущення про те, що вихід пластичної зони за межі одиничних мікронерівностей сповільнює зменшення висоти мікронерівностей у процесі обробки.

Був також проведений експеримент обробки тонкостінної деталі зі сталі 45 (HB 185, $d_0 = 19$ мм, $t_0 = 1$ мм) шорсткістю поверхні отвору Ra 7 мкм (Rz 28 мкм) натягом $a = 0,2$ мм інструментом із ВК 15, а також сталевими інструментами з покриттями TiN і CrN , осадженими способом КІБ. Як технологічне змащення використовувався сульфозфрезол.

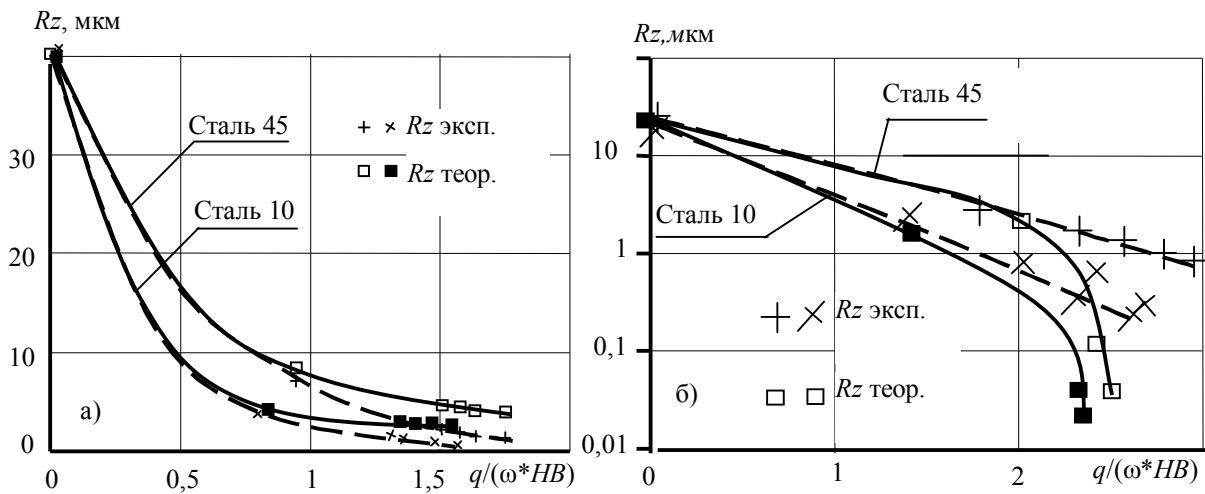


Рис. 5. Залежність висоти мікронерівностей Rz від безрозмірного контактного тиску при деформуючому протягуванні деталей зі сталей 10 і 45 з попередньо розточеним отвором ($S = 0,21$ мм/об)

Ці покриття забезпечують різний коефіцієнт тертя при взаємодії інструмента з оброблюваним виробом [10]. При використанні інструмента з покриттям TiN коефіцієнт тертя більший, ніж при використанні CrN . При застосуванні інструмента ВК 15 без покриття коефіцієнт тертя перевищує значення, що мають місце при використанні інструмента з покриттями. Результати наведені на рис. 6. Як видно з малюнка, починаючи із другого циклу обробки значення шорсткості, отримані розрахунком, починають істотно відрізнятися від експериментальних.

Висновок.

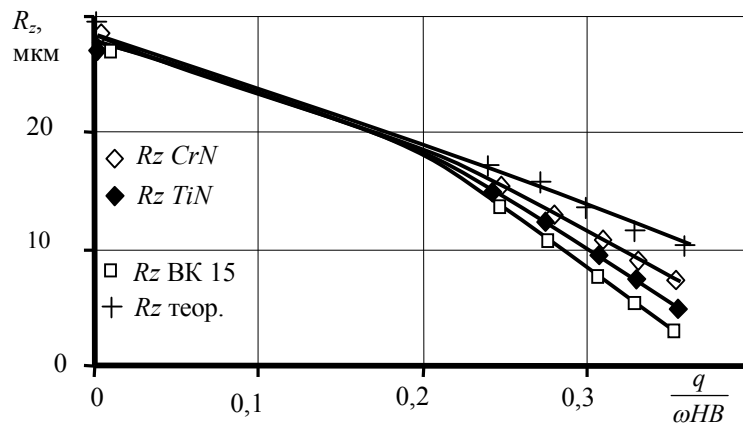


Рис. 6. Залежність висоти мікронерівностей Rz від безрозмірного контактного тиску при деформуючому протягуванні деталей зі сталі 45 (HB 185) після розточування $S = 0,21$ мм/об, $t_0 = 1$ мм, $d_0 = 19$ мм

Розроблено методику розрахунку висоти мікронерівностей при малоциклового деформуючому протягуванні, що може бути рекомендована для технологічних розрахунків Rz обробленої поверхні. Проведені експериментальні дослідження показали, що при числі циклів обробки до двох, дані, отримані розрахунком, задовільно відповідають дослідним. При більшому числі циклів деформування (більше 2) проявляється вплив зсувних деформацій у поверхневому шарі й методика дає похибку. Розроблена модель дозволяє виконувати розрахунки Rz на стадії проектування технологічного процесу, у тому числі в САПР.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Гриценко Э.И., Посвятенко Э.К. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием. – Киев: Наукова думка, 1977. - 187 с.
2. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Обработка отверстий твердосплавными выглаживающими протяжками. – Киев: Техніка, 1966. - 62 с.
3. Розенберг О.А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. – Киев: Наукова думка, 1981. - 288 с.
4. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М.: - Машиностроение, 1971. - 208 с.
5. Проскуряков Ю. Г., Меньшаков В.М. Микрогеометрия поверхности при обработке деталей упрочняюще-калибрующими методами. // Вестник машиностроения. – 1961. - № 8. – С. 67-72.
6. О. А. Розенберг, Ю. А. Цеханов, С. Е. Шейкин / Технологическая механика деформирующего протягивания. Воронеж. гос. технол. акад. - Воронеж, 2001. – 203 с.
7. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальнов В.А. Шероховатость поверхности. Теоретико-вероятностный подход. - М.: Наука, 1975. - 343 с.
8. Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. - М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
9. Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел, - М.: Наука, 1977. - 254 с.
10. Шейкин С.Е., Маслов Р.А., Брескина А. И., Афанасьева И. И. Обработка деталей из нержавеющей стали деформирующим протягиванием/ Повышение эффективности протягивания, Рига, Риж. политех. и -т, 1990.С. 115-119.
11. Розенберг О.А., Немировский Я.Б., Шейкин С.Е., Власюк З.Г. Применение износостойких покрытий на рабочих элементах деформирующих протяжек. Сверхтвердые материалы. 1987 г. № 1. с. 36-41