

ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ СТАЛЕЙ

© Кусий Я.М., Литвиняк Я.М., Кук А.М., 2007

Наведені результати дослідження реалізованого за допомогою теорії математичного планування експериментів під час застосування комп'ютерної програми *Roughness Plot Analyzer* для метрологічного забезпечення можливості отримання емпіричних залежностей з прогнозування значень мікрогеометричних параметрів якості поверхні деталей (R_a , S_m , S_v) із важкообробної сталі 36НХТЮ залежно від режимів різання під час точіння.

Materials of research of the mathematical planning of experiments realized by a theory are resulted at application of the computer program *Roughness Plot Analyzer* for the metrology providing of possibility of receipt of empiric dependences for prognostication of values of microgeometry parameters of quality of surface of details (R_a , S_m , S_v) from steel of 36НХТЮ depending on the modes of cutting at sharpening.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації машин, приладів, апаратів переконливо свідчить, що їхня надійність визначається станом поверхневого шару деталей і залежить від характеру їх контактування одна з одною або з рідким, газовим та іншим середовищем, [1]. За результатами багатьох досліджень, виконаних, насамперед, науковцями Росії, України, Білорусії, зокрема Д.Д. Папшевим, І.В. Кудрявцевим, Ю.Г. Шнейдером, Л.О. Хворостухіним, Ю.І. Бабейом, Б.І. Костецьким, П.І. Ящеріциним, П.А. Чепою та іншими, встановлено, що показники якості поверхні істотно визначають зносостійкість, міцність, корозійну стійкість та інші експлуатаційні властивості деталей машин. Сучасний розвиток машинобудування пов'язаний із створенням і освоєнням технологій оброблення заготовок із сталей і сплавів з підвищеними фізико-механічними властивостями – високою міцністю, корозійною стійкістю при підвищених температурах у різних середовищах. Проте виготовлення на машинобудівних підприємствах деталей із важкооброблюваних матеріалів, незважаючи на набутий досвід, супроводжується значними труднощами, високою трудомісткістю, низькою продуктивністю тощо [2]. Домінуючими методами оброблення металів з особливими фізико-механічними властивостями залишаються традиційні методи різання, а спроби замінити їх електрофізичними, електрохімічними методами істотного успіху не мали внаслідок значних матеріальних та енерговитрат та складності застосовуваного технологічного устаткування.

Аналіз досліджень і публікацій. Існуючі марки сталей і сплавів із спеціальними властивостями належать до важкооброблюваних і за критерієм оброблюваності різанням, згідно з існуючою класифікацією, поділяються на 8 груп [2]. Для кожної групи матеріалів розроблені рекомендації щодо вибору режимів різання під час застосування різальної частини інструментів із швидко-різальної сталі або твердого сплаву. Сталь 36НХТЮ типовий представник V групи класифікації важкооброблюваних матеріалів, і застосовується для виготовлення деталей машин, які працюють при великих навантаженнях і високих температурах 750–950 °С (дисків, робочих лопаток і інших елементів газових турбін тощо). До цієї групи належать деформовані жароміцні сплави на нікелевій і залізнікелевій основах, леговані значною кількістю хрому і дещо меншою кількістю титану, алюмінію, вольфраму, молібдену та інших елементів. Особливість оброблення сталі 36НХТЮ визначається низькою теплопровідністю, яка спричинює виникнення у зоні різання високих

температур, які у 2–3 рази вищі, ніж під час оброблення конструкційних сталей, а тому значно знижують стійкість різальних інструментів; нижчою приблизно в 7 разів від Сталі 45 оброблюваністю; порівняно високою міцністю та в'язкістю, що зумовлює виникнення під час різання зусиль, які у 2–3 рази більші, ніж при обробленні конструкційних сталей, що вимагає забезпечення значної жорсткості системи верстат-пристрій-інструмент-деталь. Однак, незважаючи на існуючі рекомендації стосовно вибору режимів різання, змащувально-охолоджувальних середовищ під час оброблення сталі 36НХТЮ для забезпечення, наприклад, відповідної стійкості металорізальних інструментів, значно менше відомостей про вплив режимів різання на мікрогеометричні параметри якості поверхні деталей.

Аналіз причин і характеру руйнування деталей машин свідчить, що здебільшого руйнування починається в поверхневому шарі, а опірність руйнуванню визначається сукупністю характеристик якості поверхневого шару деталей машин: мікрогеометрією (шорсткістю поверхні, формою та розташуванням мікронерівностей тощо), зміцненням, структурою та залишковими напруженнями [1, 3–6]. Здебільшого саме шорсткість відповідних поверхонь деталей має значний вплив на формування експлуатаційних властивостей деталей, таких як зносостійкість, втомна та протикорозійна міцності, ступінь відбивання світлових і електромагнітних хвиль, декоративні властивості тощо.

Прогнозування якісних показників поверхонь деталей, залежно від технологічних факторів певної операції механообробки, можливе лише у разі використання висновків коректного, оперативного оцінювання отриманих результатів попередньо проведених експериментальних досліджень. Визначення мікрогеометричних показників поверхонь деталей здійснюється здебільшого за допомогою існуючих профілометрів-профілографів заводу “Калібр”. Однак, моральна застарілість електронних блоків при незначному зношуванні механічної частини згаданих приладів, спонукає до пошуку сучасних засобів комплексного оброблення профілограм поверхонь деталей. Отже, актуальним залишається завдання визначення впливу методів оброблення на формування параметрів якості поверхневого шару деталей, зокрема мікрогеометричних, а також розроблення обґрунтованих рекомендацій щодо вибору режимів різання з огляду забезпечення бажаних експлуатаційних характеристик деталей машин як під час їх виготовлення, так і під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту.

Формулювання цілей досліджень. Мета виконаних досліджень полягала у встановленні емпіричних залежностей впливу технологічних факторів процесу чистового точіння сталі 36НХТЮ на деякі висотні та крокові характеристики шорсткості обробленої поверхні та в апробації, розробленої у ФМІ НАНУ (м. Львів) комп'ютерної програми Roughness Plot Analyzer [10] для оцінювання профілограм поверхонь і визначення кількісних показників шорсткості.

Викладення основного матеріалу досліджень. Оцінювання шорсткості обробленої поверхні деталі здійснювали комплексно (ГОСТ 2789-73 та ISO 4287) за допомогою висотних та крокових показників – середнього арифметичного відхилення профілю R_a , середнього кроку нерівностей профілю S_m та середнього кроку по вершинах нерівностей профілю S (належать до основних показників шорсткості, які визначають експлуатаційні властивості поверхні [8, 9, 10]).

Експериментальні дослідження виконували за допомогою методики теорії математичного планування експериментів шляхом побудови математичних моделей для визначення впливу на кожен з показників шорсткості (R_a , S_m , S) основних технологічних факторів (подачі S_{nd} , глибини різання t , частоти обертання шпинделя n) процесу чистового точіння циліндричних зразків із сталі 36НХТЮ. Для кожного із напрямків експериментальних досліджень кінцевий вибір кількісних факторів проводили на підставі їх незалежності, детермінованості та значимості, що встановлено з попередніх експериментів. Взято до уваги, що для практичного застосування емпіричних залежностей доцільно встановити зв'язок між технологічними факторами та досліджуваними параметрами у вигляді степеневих виразів, які традиційні для технології машинобудування. Логарифмування степеневих виразів забезпечує отримання рівнянь регресії у вигляді поліномів

$$Y = b_0 + \sum_p b_p \cdot X_p + \sum_{ij} b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{ijk} b_{ijk} \cdot X_i \cdot X_j \cdot X_k, \quad (1)$$

де Y – функція параметра поліноміальної моделі; b_0 , b_p , b_{ij} та b_{ijk} – коефіцієнти регресії, X_p , X_i , X_j та X_k – кодоване позначення змінних факторів.

Невідомі коефіцієнти регресії визначали за результатами експериментів, реалізованих за факторними планами вигляду 2^m (m – кількість факторів варіювання, прийнято $m=3$), які, своєю чергою, дозволяють отримати емпіричні моделі у вигляді поліномів [12, 13]. Кодове позначення та рівні варіювання факторів наведені в таблиці. Відтворюваність дослідів забезпечується повторною кількістю дослідів $r=2$ в одній точці плану експериментів. Коефіцієнти регресії розраховували з використанням середнього значення логарифмів показника оптимізації, отриманого на підставі реалізації двох паралельних спостережень.

Рівні зміни факторів під час дослідження їх впливу на геометричні параметри якості поверхні зразків із сталі 36НХТЮ при токарному обробленні

№ з/п	Характеристика фактора	Кодове позначення	Рівні зміни факторів		Інтервал зміни
			верхній	нижній	
1	Подача S_{nd} , мм/об	X_1	0,17	0,0475	0,1225
2	Глибина різання t , мм	X_2	0,6	0,2	0,4
3	Частота обертання шпинделя n , хв ⁻¹	X_3	500	200	300

Експерименти виконували на циліндричних зразках $\varnothing 65 \times 220$ мм з попередньо отриманими циліндричними ділянками завдовжки 12–15 мм. Зразки встановлювали на токарно-гвинторізальному верстаті мод. 16Б16А за допомогою патрона і заднього центра. Інструмент – різець прохідний з напаяною пластинкою твердого сплаву ВК6М. Точіння проводили із застосуванням твердого технологічного змащувального матеріалу марки НВ-1. Межі зміни технологічних факторів, вибрані на основі рекомендацій літературних джерел, технологічних можливостей токарного верстата і виконаних попередньо проходів. Фіксацію шорсткості поверхні здійснювали контактним методом записуванням профілограм на профілографі-профілометрі заводу “Калібр” моделі С-265.

Комп’ютерне опрацювання записаних у форматі *BMP* графічних зображень отриманих профілограм, виконувалось за допомогою комп’ютерної програми *Roughness Plot Analyzer*. Діалогове вікно програми зображене на рис. 1. Робота програми починається після завантаження графічного файлу профілограми за допомогою функцій *OnLoadInitialize ()*, *Initialize ()*, *FillPlotCoordArray ()* – сканування, ініціалізація масиву координат з роздільною здатністю від одного пікселя. Функція *FindOX* слугує для динамічного пошуку бази і середньої лінії профілю з точністю 1–10 пікселів. За допомогою функцій *GetBase ()*, *GetMaxY ()*, *GetMinY ()*, *GetMiddlePointImage ()*, *GetExtremum ()* знаходять параметри базової довжини і екстремальних точок. За відтворення результатів у головному діалоговому вікні і їх збереження відповідають функції *RefreshPlotObj ()*, *RefreshRezultPlotObj ()* і *SaveDataToFile (sFilePathAndName)*. Для автоматичної побудови опорної кривої поверхні використовується модуль *StrengthPlot*, що включає функції *GetLengthAtExtr2* (визначення $\Delta \ell_i$), *GetLengthOnHeightY* (визначення $\Delta \ell$), *PsetRezLine ()*, *PsetRezPoint ()*, *ShowGrid* (виведення графіка в діалоговому вікні). Модуль *GetRealValues* використовується для перетворення відносних координат в реальні (мкм) і розрахунку геометричних характеристик профілю поверхні (R_a , R_z , r , L , R_{max} , R_q , R_p , S , S_m). Результати розрахунку можна зберегти в окремому файлі [10].

Оброблення отриманих за допомогою програми *Roughness Plot Analyzer* результатів, виконувалось відповідно до методики, наведеної в [12, 13], за допомогою розробленої авторами в середовищі *MathCAD* комп’ютерної програми, яка дозволяє отримати рівняння регресії в кодованих

змінних (розрахувати коефіцієнти регресії) та здійснити статистичний аналіз за критеріями Кохрена (G_T), Стьюдента ($t_{кр}$) та Фішера ($F_{кр}$) [11–13].

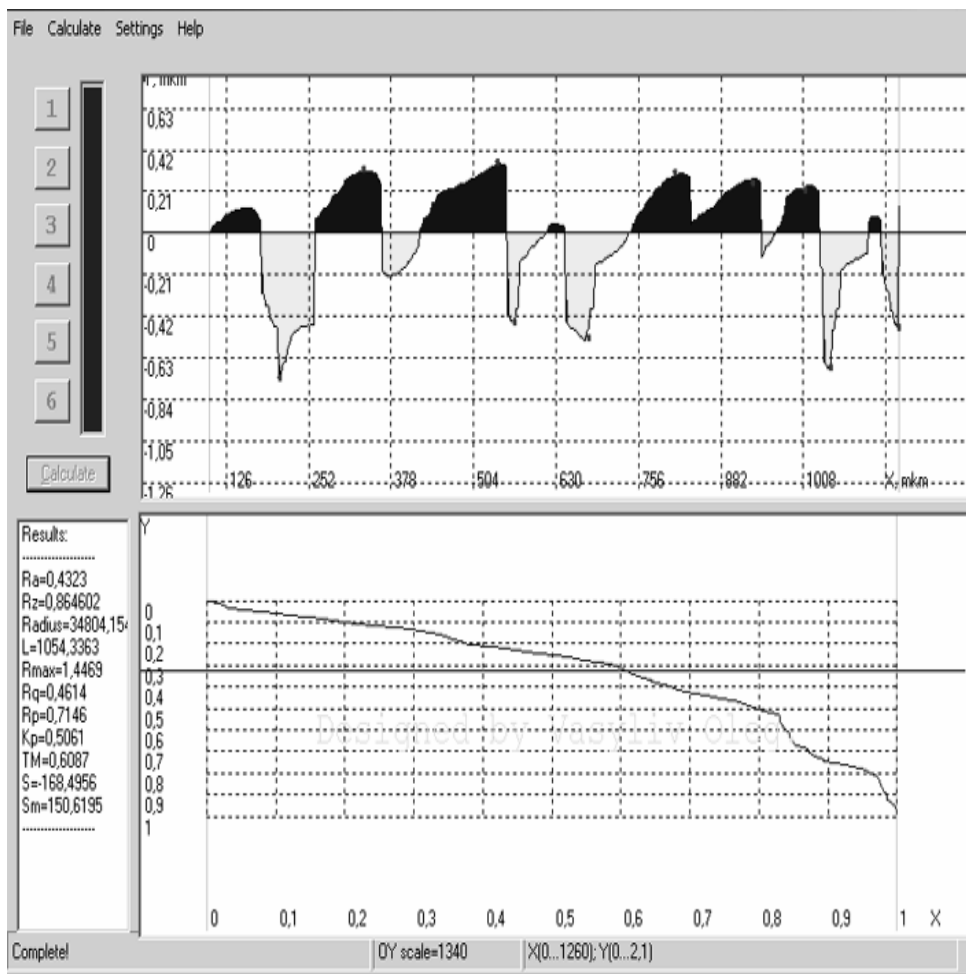


Рис. 1. Основне діалогове вікно програми *Roughness Plot Analyzer*: мікрорельєф поверхні, форма опорної кривої, характеристики шорсткості поверхні

Кінцеві математичні вирази з натуральними змінними для визначення мікрогеометричних характеристик поверхні R_a , S_m та S після тонкого точіння зразків із сталі 36НХТЮ, мають вигляд:

$$R_a = 31942,7335 \cdot S^{-4,6559} \cdot t^{-3,7399} \cdot n^{-1,4635+0,8187 \cdot \ln(S)+0,7583 \cdot \ln(t)} \quad (1)$$

$$S_m = 0,00014 \cdot S^{-7,107} \cdot t^{-9,9711-4,1664 \cdot \ln(S)} \cdot n^{2,5821+1,2514 \cdot \ln(S)+1,744 \cdot \ln(t)+0,7238 \cdot \ln(S) \cdot \ln(t)} \quad (2)$$

$$S = 163,09 \cdot S_{n0}^{-0,042} \cdot t^{-3,6547} \cdot n^{0,1589+0,6808 \cdot \ln(t)} \quad (3)$$

Емпіричні залежності (1)–(3) графічно відображені на рис. 2–4.

Аналіз рівнянь регресії (використовували для отримання виразів (1)–(3)), графіків (рис. 2–4) дозволив встановити, що для отримання мінімальної шорсткості поверхні деталі із сталі 36НХТЮ за середнім арифметичним відхиленням профілю R_a ($R_a \rightarrow R_{\min} = 0,2$ мкм) тонке точіння потрібно виконувати за таких режимів різання: $S_{n0} = 0,0475$ мм/об, $t = 0,2$ мм; $n = 500$ хв⁻¹. Забезпечення максимальної продуктивності праці ($T_{0\min} = \frac{L}{S_{\max} \cdot n_{\max}}$, де $T_{0\min}$ – мінімальне значення машинного (операційного) часу, L – шлях різання) та порівняно низької шорсткості поверхні ($R_a = 0,3484$ мкм) обробку тонким точінням потрібно проводити за таких режимів різання: $S = 0,17$ мм/об, $t = 0,2$ мм; $n = 500$ хв⁻¹. Збільшення глибини різання до $t = 0,6$ мм при $S = 0,17$ мм/об і $n = 500$

хв^{-1} супроводжується збільшенням шорсткості поверхні до $R_a = 1,0144$ мкм. Найбільша шорсткість ($R_a \approx 31$ мкм) поверхні деталі із сталі 36НХТЮ прогнозується при точінні із подачею $S = 0,0475$ мм/об, глибиною різання $t = 0,2$ мм і частотою обертання шпинделя $n = 500$ хв^{-1} .

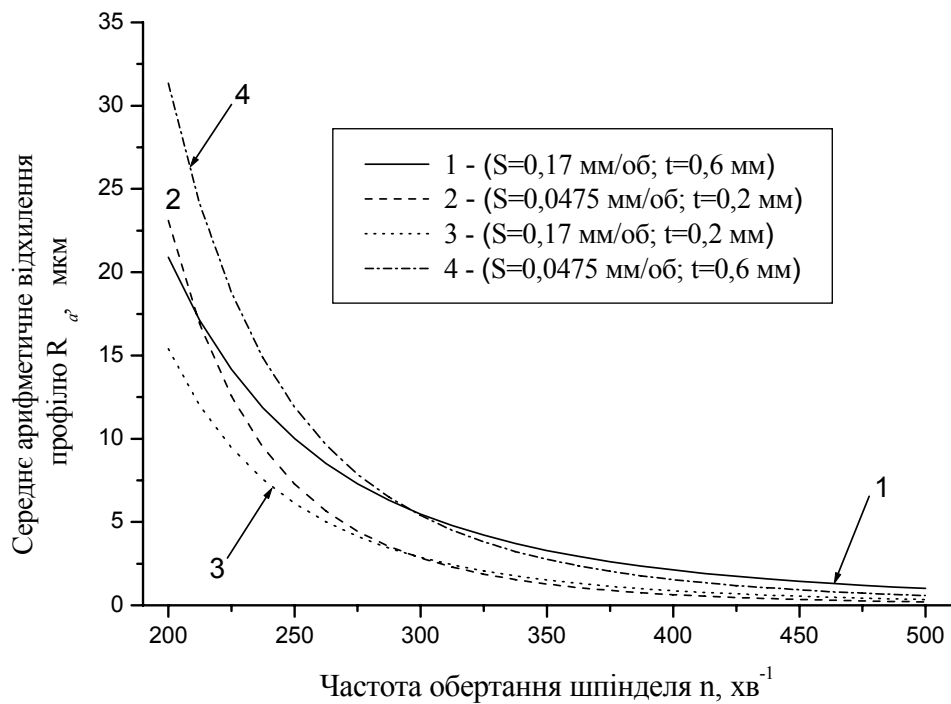


Рис. 2. Вплив частоти обертання шпинделя n на середнє арифметичне відхилення профілю R_a під час точіння сталі 36НХТЮ

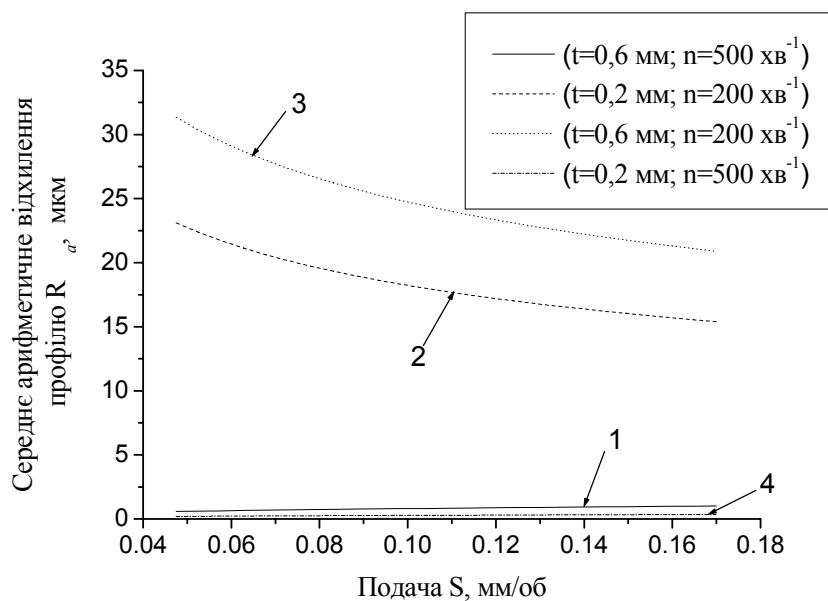


Рис. 3. Вплив подачі $S_{пд}$ на середнє арифметичне відхилення профілю R_a під час точіння сталі 36НХТЮ

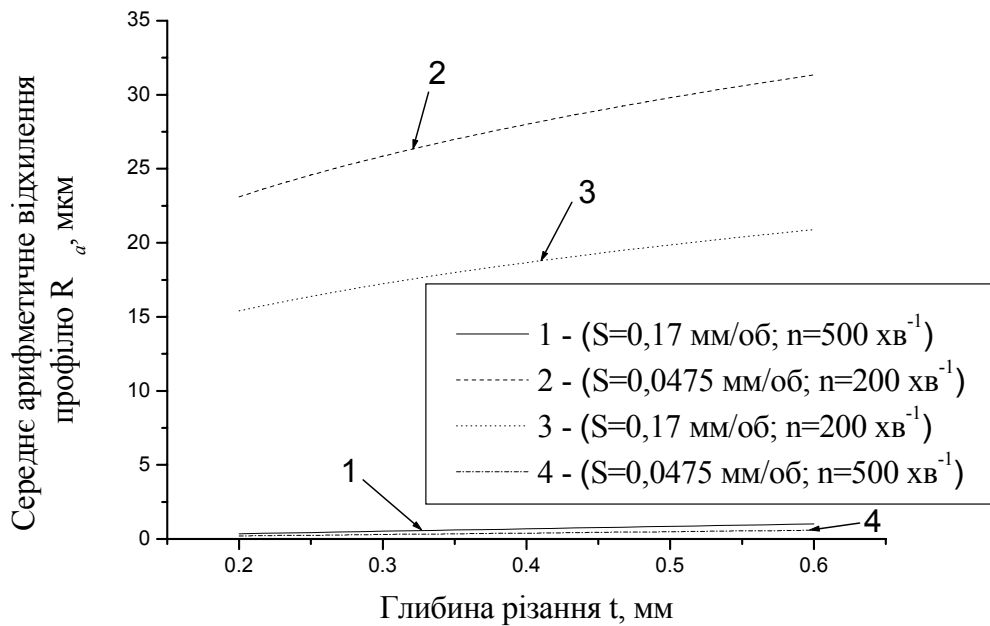


Рис. 4. Вплив глибини різання t на середнє арифметичне відхилення профілю R_a під час точіння сталі 36НХТЮ

Висновки. Резервом підвищення конкурентоспроможності та покращання експлуатаційних характеристик виробів є технологічне забезпечення мікрогеометричних параметрів якості поверхневих шарів виконавчих (робочих) поверхонь деталей. Використання прикладних програм для опрацювання результатів вимірювання параметрів шорсткості поверхні, зокрема *Roughness Plot Analyzer*, дозволяє значно підвищити точність, зменшити трудомісткість розрахунку і здійснювати оперативне комплексне оцінювання топографічних характеристик мікрогеометрії поверхневого шару. Вплив технологічних параметрів точіння на показники мікрогеометрії є неоднозначним. Найбільший вплив на значення $\ln(R_a)$ мають частота обертання шпинделя n глибина різання t , взаємодії S_{nd} і n та t і n . Максимально впливають на $\ln(S_m)$ частота обертання шпинделя n , взаємодії S і n і S , t , n , а на значення $\ln(S)$ – частота обертання шпинделя n , глибина різання t , взаємодії t і n . При значеннях подачі $S_{nd} = 0,0475$ мм/об, глибини різання $t = 0,2$ мм; частоти обертання шпинделя $n = 500$ хв⁻¹ забезпечується найменша шорсткість поверхні $R_a \approx 0,2$ мкм. При режимах різання: $S = 0,17$ мм/об, $t = 0,2$ мм; $n = 500$ хв⁻¹ досягається максимальна продуктивність процесу тонкого точіння та прийнятна шорсткість поверхні деталі ($R_a = 0,3484$ мкм).

1. Шнейдер Ю.Г. *Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом*. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с. 2. *Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник* / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с. 3. Гулида Э.Н. *Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес (технологические основы)*. – Львов: Выща школа, изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 136 с. 4. Каледин Б.А., Чепя П.А. *Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием*. – Минск: Наука и техника, 1974. – 232 с. 5. Маталин А.А. *Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин*. – М.: Машигиз, 1956. – 245 с. 6. Афтаназів І.С., Кусий Я.М., Свіч А. та ін. *Огляд технологій викінчувального оброблення довгомірних стержневих виробів* // Вісн. Житомир. інж.-технол. ін-ту.: Спец. вип. за матеріалами II Міжнар. наук.-техн. конф. “Процеси механічної обробки, верстати та інструменти”. – Житомир, 2001. – С. 60–68. 7. Яцерицын П.И., Минаков А.П. *Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении*. – Минск: Наука и техника, 1986. – 215 с. 8. *Справочник по триботехнике: В 3 т.* / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Т.1:

Теоретические основы. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с. 9. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. *Качество поверхности и контакт деталей машин.* – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с. 10. Широков В.В., Арендар Л.А., Ковальчик Ю.И та ін. *Оцінка зміни рельєфу фрикційних поверхонь.* 11. Адлер Ю.П., Маркова Е.Б., Грановский Ю.В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.* – М.: Наука, 1976. – 279 с. 12. Пляскин И.И. *Оптимизация технических решений в машиностроении.* – М.: Машиностроение, 1982 – 173 с. 13. Рыжов Э.В., Горленко О.А. *Математические методы в технологических исследованиях.* – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с. 14. Кусый Я.М., Широков В.В., Васылиев Х.Б. и др. *Влияние технологических параметров точения на шероховатость поверхности изделий из стали 36НХТЮ // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: Тр. 7-й Международ. промышлен конф. – К., Славск, 2007.*

УДК 621.9.048.6

І.С. Дерев'янка

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування,

СТАН І АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНЕВИМ ЗМІЦНЕННЯМ

© Дерев'янка І.С., 2007

Проаналізовано сучасні методи підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням.

In the article the review of modern methods of machines details reliability increasing is conducted with the superficial strengthening.

Постановка проблеми. Підвищення довговічності і працездатності деталей машин та механізмів, різальних інструментів, технологічного обладнання, устаткування і спорядження є актуальною проблемою сучасного машинобудування. Це зумовлено тим, що на виготовлення, ремонт і обслуговування техніки, запасних частин машин та механізмів використовуються значні матеріальні, економічні і суспільні ресурси. Для сучасних машин характерно безперервне збільшення потужностей і робочих навантажень за одночасного підвищення швидкостей та прискорень їх виконавчих органів, передачі все більших зусиль і обертових моментів, що зумовлює істотне підвищення вимог до надійності машин. Зазвичай втрата працездатності та прискорений вихід з ладу під час експлуатації є наслідком процесів, які відбуваються у приповерхневих шарах деталей, а саме: тертя та зношування, перерозподіл залишкових напружень та їх надмірна концентрація, розвиток мікротріщин, знеміцнення. Приповерхневі шари, які є межею поділу фаз, піддаються активному впливу зовнішнього, часто агресивного середовища. Часткове усунення або повна нейтралізація цих негативних впливів підвищує точність контактних поверхонь, зносостійкість, втомну міцність, корозійну стійкість, контактну жорсткість. Покращання показників приповерхневих шарів деталей можливе шляхом вдосконалення конструкцій, раціонального вибору і застосуванням якісніших матеріалів, з покращеними фізико-механічними властивостями, розроблення нових технологічних процесів зміцнення поверхонь деталей.

Формулювання цілі статті. Ціллю статті було проведення аналізу сучасних методів підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням.