

УДК 621.9.203

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЗАГОТОВОК ІЗ МАРГАНЦЕВОЇ СТАЛІ ПРИ РЕГУЛЬОВАНОМУ РОТАЦІЙНОМУ ТОЧІННІ

Л. П. Федотьєва

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: fan450@yandex.ru

Наведені матеріали щодо встановлення теоретичної висоти мікронерівностей поверхневого шару заготовок, отриманої в результаті виконання точіння ротаційним різцем за другою схемою ротаційного різання. Наведено дані про розробку математичної моделі формування шорсткості обробленої поверхні заготовок із марганцевої сталі для регульованого ротаційного точіння. Проведені додаткові дослідження залежності шорсткості обробленої поверхні заготовок зі сталі 110Г13Л при виконанні регульованого ротаційного точіння при позитивних і негативних значеннях кінематичного коефіцієнта.

Ключові слова: ротаційне точіння, шорсткість, висота мікронерівностей.

DEFINITION OF INDICATORS OF QUALITY OF THE BLANKET OF PREPARATIONS FROM THE MANGANOUS STEEL AT REGULATED ROTARY TURNING

L. P. Fedot'eva

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pervomayskaya, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: fan450@yandex.ru

In the article materials are resulted on establishment of theoretical height of microburries of superficial layer of purveyances, got as a result of implementation of turning a rotary cutter on the second chart of the rotary cutting. Information is resulted about development of mathematical model of forming of roughness of the treated surface of purveyances from highmanganese steel for the guided rotary turning. Additional researches of dependence of roughness of the treated surface of purveyances are also resulted from steel of 110Г13Л at implementation of the guided rotary turning at the positive and negative values of kinematics coefficient.

Key words: rotary turning, roughness, height of microburries.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗАГОТОВОК ИЗ МАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ ПРИ РЕГУЛИРУЕМОМ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ

Л. П. Федотьєва

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: fan450@yandex.ru

Приведены материалы по установлению теоретической высоты микронеровностей поверхностного слоя заготовок, полученной в результате выполнения точения ротационным резцом по второй схеме ротационного резания. Приведены данные о разработке математической модели формирования шероховатости обработанной поверхности заготовок из марганцевой стали для регулируемого ротационного точения. Проведены дополнительные исследования зависимости шероховатости обработанной поверхности заготовок из стали 110Г13Л при выполнении регулируемого ротационного точения при положительных и отрицательных значениях кинематического коэффициента.

Ключевые слова: ротационное точение, шероховатость, высота микронеровностей.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Останніми роками досягнуті істотні успіхи в напрямку створення принципово нових матеріалів, але питоме споживання в машинобудуванні литих сталей і чавунів залишається переважним.

Зі сталей, що мають специфічні властивості, особливого інтересу заслуговують сталі аустенітного класу. Ці сталі є незамінним матеріалом для деталей, що працюють в умовах абразивного та ударного навантаження одночасно. Однак широке використання цих матеріалів обмежене, у тому числі через складнощі, пов'язані з їх механічною обробкою.

Раніше [1–4] було запропоновано новий метод лезової обробки марганцевих сталей і визначено раціональні межі використання примусового обертання різальної чашки ротаційного різця для забезпечення зменшення силових параметрів процесу різання за рахунок деформаційної структурної анізотропії матеріалу поверхневого шару заготовок із високомарганцевих сталей.

Обробку заготовок із марганцевої сталі ротаційним різцем можливо провадити як чорнову, так і чистову. У зв'язку із вищезгаданим метою роботи є проведення аналітичного розрахунку висоти мікронерівностей, що виникають при обробці ротаційними різцями.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Як відомо [5] висоту мікронерівностей можна визначити за формулою:

$$R_z = H_p + \Delta H, \quad (1)$$

де H_p – розрахункова висота мікронерівностей; ΔH – відхилення фактичної висоти мікронерівностей від розрахункової:

$$\Delta H = \Delta H_y + \Delta H_{nl} + \Delta H_c + \Delta H_{mer} + \Delta H_{спр} + \Delta H_g, \quad (2)$$

де ΔH_y – приріст висоти мікронерівностей в результаті пружного відновлення поверхні зрізання; ΔH_{nl} – приріст висоти мікронерівностей в результа-

ті пластичної деформації в зоні утворення стружки; ΔH_c – зміна висоти нерівностей через зрізання їх вершин стружкою, що сходить; $\Delta H_{мер}$ – приріст за рахунок тертя задньої поверхні різця по обробленій поверхні; $\Delta H_{сп}$ – зміна висоти мікронерівностей внаслідок зміни вихідного контуру спрацьованої різальної крайки; ΔH_s – приріст висоти мікронерівностей через вібрації різця й обробленої деталі.

У нашому випадку здійснюється дослідження формування мікронерівностей поверхневого шару заготовки при керованому ротаційному різанні із примусовим обертанням різальної чашки для другої схеми ротаційного різання при тангенціальному то-чінні. Тому схема утворення мікронерівностей для даної схеми різання буде виглядати, як показано на рис. 1, а.

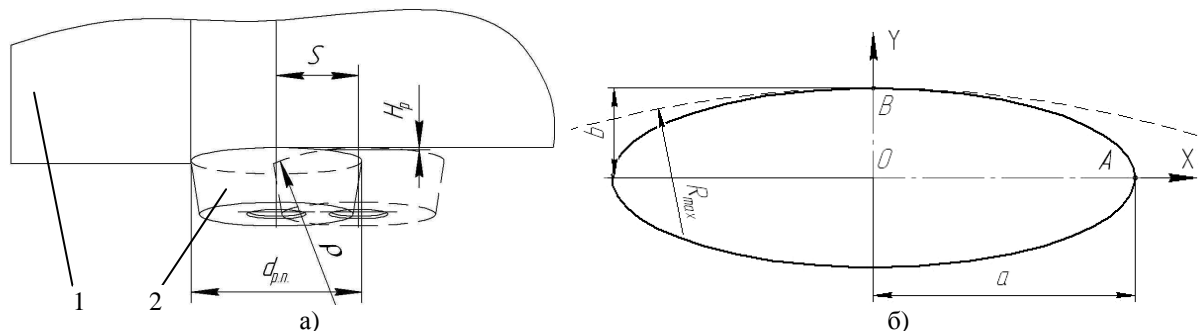


Рисунок 1 – Схема формування мікронерівностей поверхневого шару при ротаційному то-чінні (а) і схема проєкції кругової різальної крайки (б):
1 – заготовка; 2 – чашка ротаційного різця

Згідно схеми, наведеної на рис. 1,а висоту мікронерівностей H_p можна визначити за формулою, що використовується для аналогічного розрахунку за умови використання різця із радіусом при вершині ρ_p [5]:

$$H_p = \frac{S^2}{8 \cdot \rho_p}, \quad (3)$$

де S – подача різця.

Для розрахунку теоретичної висоти мікронерівностей треба зробити деякі припущення: проєкція різальної крайки на основну площину (еліпс на ділянці контакту із деталлю) замінимо на коло із радіусом, що дорівнює радіусу кривини еліпса у вершині різця.

Отже, у нашому випадку радіус при вершині призматичного різця у формулі (3) можливо замінити на радіус кривизни еліпса ρ (проєкції колової різальної крайки радіуса r) при вершині ротаційного різця (рис. 1,а).

Найпростіше скористатися параметричними рівняннями еліпса [6, 7]

$$x = a \cdot \cos t; \quad y = b \cdot \sin t, \quad (4)$$

де x, y – плінне значення координати (рис. 1,б); a, b – відповідно більший та менший радіуси еліпсу; t – параметр.

Радіус кривизни пласкої кривої, заданої в параметричному вигляді розраховується за формулою [6, 7]

$$R = \frac{(x'^2 + y'^2)^{3/2}}{|x'y'' - y'x''|}, \quad (5)$$

де штрихи позначають диференціювання за параметром t .

Із формул (4) знаходимо:

$$\begin{aligned} x' &= -a \cdot \sin t; \quad y' = b \cdot \cos t; \\ x'' &= -a \cdot \cos t; \quad y'' = -b \cdot \sin t. \end{aligned} \quad (6)$$

Отже з урахуванням формул (6) максимальний радіус кривини еліпса, що відповідає радіусу кривини у вершині ротаційного різця розраховуємо як

$$R_{\max} = \frac{(a^2 \sin^2 t - b^2 \cos^2 t)^{3/2}}{a \cdot b}. \quad (7)$$

У вершині $B(0;b)$ при параметрі $t = \pi/2$ радіус кривини дорівнює

$$R_b = \frac{a^2}{b}. \quad (8)$$

Для нашого випадку радіус еліпсу a дорівнює радіусу різальної пластини:

$$a = \frac{d_{p.n.}}{2}. \quad (9)$$

Для розрахунку радіусу b еліпсу складемо схему, наведену на рис. 2.

Отже радіус b еліпсу розраховується наступним чином:

$$b = \frac{d_{p.n.}}{2} \cdot \sin \alpha, \quad (10)$$

де α – задній кут різальної чашки.

З урахуванням формул (9) і (10) можна визначити радіус кривизни еліпсу у вершині різця ρ і теоретичну висоту мікронерівностей H_p для нашого випадку

$$\rho = \frac{d_{p.n.}}{2 \cdot \sin \alpha}; \quad (11)$$

$$H_p = \frac{S^2 \cdot \sin \alpha}{4 \cdot d_{p.n.}}. \quad (12)$$

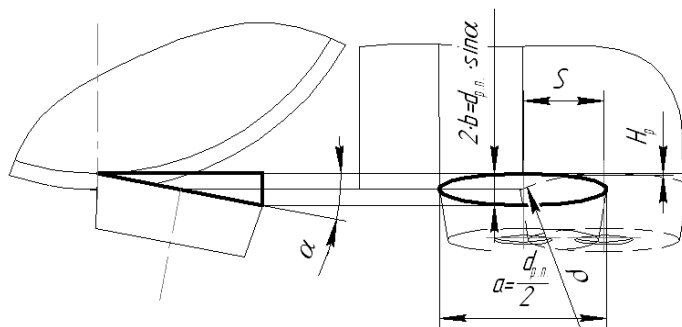


Рисунок 2 – Схема для розрахунку радіусу b еліпсу

Підрахунки за цією формулою за заданих умов $S = 0,2$ мм/об, $\alpha = 8^\circ$, $d_{p,n} = 32$ мм дають наступний результат:

$$H_p = \frac{0,2^2 \cdot \sin 8^\circ}{4 \cdot 32} = 0,08 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \approx 0,1 \text{ мкм}.$$

Це дає змогу стверджувати, що за геометричними розрахунками даний процес ротаційного різання повинен задовольняти показникам якості обробленої поверхні ($R_z = 0,1$ мкм), але вплив інших факторів цього процесу на показники якості обробленої поверхні необхідно дослідити.

Шорсткість обробленої поверхні заготовок із сталі 110Г13Л проводили за стандартною методикою [8] за допомогою профілографа-профілометра мод. 202.

Дані дослідження будемо вести при швидкості головного руху $V = 50$ м/хв.

Виходячи з апіорної інформації та даних, наведених вище, отримуємо наступну залежність шорсткості поверхні від основних факторів керованого ротаційного точіння:

$$R_z = f(K, S, t), \quad (13)$$

або

$$R_z = C_{R_z} K^{x_{R_z}} S^{y_{R_z}} t^{z_{R_z}}, \quad (14)$$

де R_z – показник шорсткості поверхні, мкм; C_{R_z} – постійний коефіцієнт; $K = V_\kappa / V$ – кінематичний коефіцієнт; V – швидкість головного руху, м/хв.; V_κ – швидкість дотичного переміщення вздовж різальної кромки ротаційного різця, м/хв.; S – подача, мм/об; t – глибина різання, мм.

Нами прийнято рівняння (14) за досліджувану математичну модель і розроблено повний факторний експеримент (ПФЕ) типу 2^k . Однак отримати значення показників ступеня при факторах на основі плану ПФЕ цього типу не вбачалось можливим. Тому провели перетворення залежності (14) шляхом логарифмування обох частин рівняння.

Отже перетворене рівняння запишемо у вигляді

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3, \quad (15)$$

де \hat{y} – оцінка $M\{y\}$ за рівнянням (15); b_0, b_1, b_2, b_3 – оцінки коефіцієнтів, що визначають показники ступенів у рівнянні (14) відповідно.

Для визначення коефіцієнтів цього рівняння використовували ПФЕ типу 2^3 . Перетворення незале-

жних перемінних \tilde{x}_i до безрозмірних перемінних x_i проводили за допомогою рівняння перетворення:

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{i,\max})}{\ln \tilde{x}_{i,\max} - \ln \tilde{x}_{i,\min}} + 1. \quad (16)$$

Результати кодування змінних приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Кодування змінних факторів

Рівень факторів	K		S, мм/об.		t, мм	
	x_1	$\ln x_1$	x_2	$\ln x_2$	x_3	$\ln x_3$
Верхній	0,3	-1,204	0,3	-1,204	3	1,099
Основний	0,2	-1,609	0,2	-1,609	2	0,693
Нижній	0,1	-2,303	0,1	-2,303	1	0

Для попередження помилок вимірювання шорсткості, викликаних можливістю накладення на результат вимірювання похибок встановлення заготовок на пристосування, прийmemo число вимірів $n=4$.

Математичну обробку результатів експериментів проводили за стандартною методикою [9].

У результаті планування факторного експерименту і проведених експериментів щодо визначення шорсткості обробленої поверхні заготовок із марганцевої сталі 110Г13Л були отримані дані, що дозволили побудувати математичну модель залежності шорсткості поверхні від основних факторів керованого ротаційного точіння в логарифмічному мірилі:

$$\ln R_z = M\{y\} = 1,99 - 0,146 \ln \tilde{x}_1 + 0,53 \ln \tilde{x}_2 - 0,11 \ln \tilde{x}_3. \quad (17)$$

Було перевірено однорідність дисперсій за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресії, адекватності моделі за критерієм Фішера.

Після потенціювання рівняння (17) маємо залежність шорсткості обробленої поверхні, що отримуємо у результаті керованого ротаційного точіння (R_z , мкм) від кінематичного коефіцієнта $K = V_\kappa / V$, подачі інструменту (S , мм/об.), глибини різання (t , мм):

$$R_z = 7,32 \frac{S^{0,53}}{|K|^{0,146} \cdot t^{0,11}}. \quad (18)$$

Аналіз наведеної залежності дає змогу стверджувати, що найбільший вплив на значення шорсткості поверхні має подача різального інструменту: при збільшенні подачі на 0,1 мм/об – величина R_z збільшується більш ніж на 1 мкм. Найменший

вплив має глибина різання: при збільшенні глибини різання на 1мм – шорсткість поверхні R_z зменшується незначно (до 0,23 мкм).

Також ці дані свідчать про істотний вплив кінематичного коефіцієнту на шорсткість обробленої поверхні. При збільшенні значення $|K|$ на 0,1 відбувається зменшення шорсткості обробленої поверхні до 0,5 мкм.

Дослідження параметрів якості обробленої поверхні заготовок із сталі 110Г13Л у результаті виконання керованого процесу ротаційного різання

проводили при додатних і від’ємних значеннях кінематичного коефіцієнту ($K = -0,6 \div 0,6$), що дасть змогу призначити такі параметри ротаційного різання, за яких буде досягатись найвищі показники якості поверхневого шару заготовок (параметр шорсткості R_z).

Результати досліджень при значеннях подачі $S = 0,1 \div 0,4$ мм/об і глибини різання $t = 1$ мм наведені на рис. 3.

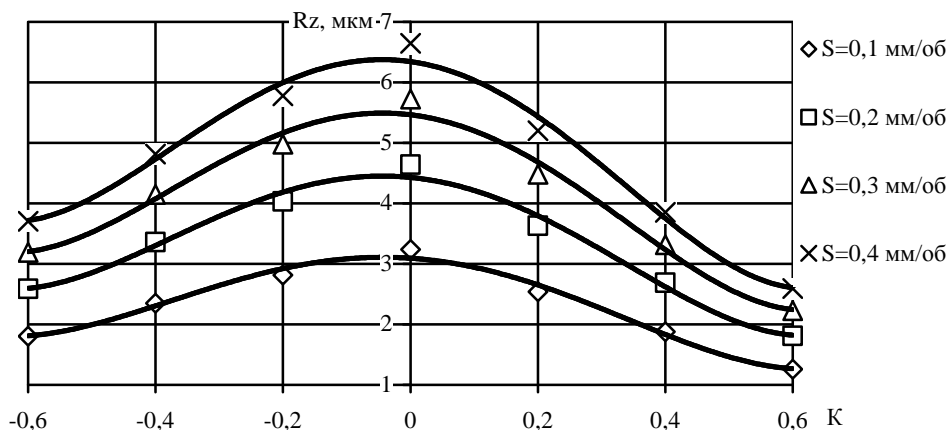


Рисунок 3 – Залежності параметру шорсткості (R_z) обробленої поверхні від кінематичного коефіцієнту K при різних значеннях подачі S (глибина різання $t = 1$ мм)

Також провели дослідження впливу глибини різання ($t = 1 \div 3$ мм) при $S = 0,1$ мм/об. Результати цих досліджень наведені на рис. 4.

Аналіз проведених досліджень вказує на наяв-

ність екстремуму (максимуму) функції $R_z = f(K)$ при значеннях, близьких до $K \approx 0$, як при зміні подачі, так і глибини різання.

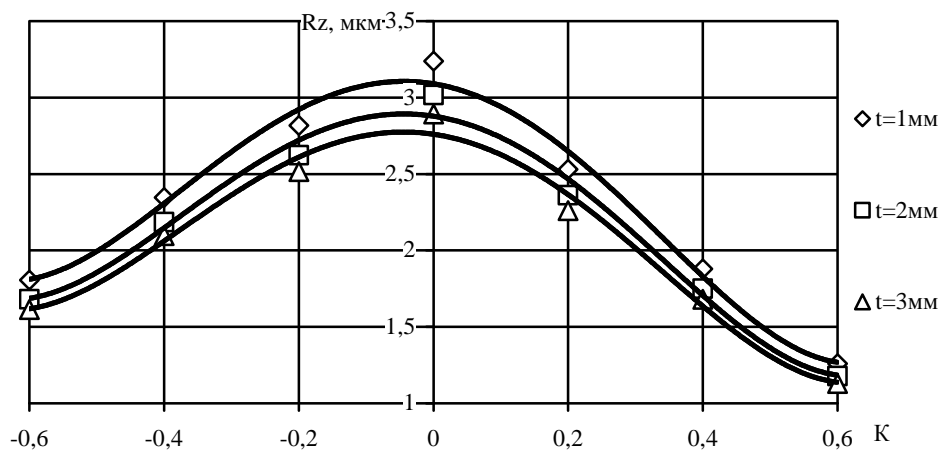


Рисунок 4 – Залежності параметру шорсткості (R_z) обробленої поверхні від глибини різання при різних значеннях кінематичного коефіцієнту K (подача $S = 0,1$ мм/об.)

Вплив подачі і кінематичного коефіцієнту на значення параметру шорсткості (R_z) обробленої поверхні заготовок із сталі 110Г13Л значно більший ніж глибини різання. Так, при зростанні кінематичного коефіцієнту від 0,2 до 0,4 параметр шорсткості поверхні R_z зменшується в $\approx 1,3$ –1,4 рази. При зростанні подачі від 0,1 мм/об до 0,2 мм/об параметр

шорсткості поверхні R_z збільшується в $\approx 1,2$ –1,4 рази, а при зростанні глибини різання від 1 мм до 2 мм – R_z знижується у $\approx 1,1$ рази.

Є деяка відмінність значень параметру шорсткості поверхні R_z при додатних і від’ємних значеннях кінематичного коефіцієнту. При від’ємних значеннях K шорсткість поверхні нижча при однакових

значеннях інших вхідних параметрів процесу керованого ротаційного різання (S , t). Так, при різних значеннях глибини різання і подачі значення R_z відрізняються у $\approx 1,1-1,45$ рази при симетричних значеннях $|K|$. Менша шорсткість досягається при додатних значеннях кінематичного коефіцієнту.

Характер залежності параметру шорсткості поверхні R_z від кінематичного коефіцієнту можна пояснити наступним чином: при зменшенні K від 0,6 до 0 збільшується швидкість проковзування задньої поверхні чашки ротаційного різця відносно обробленої поверхні, зростають сили в зоні контакту задньої поверхні чашки ротаційного різця і обробленої поверхні, що призводить до збільшення пластичних деформацій поверхневого шару заготовки, а це, в свою чергу, призводить до зростання висоти мікронерівностей.

При подальшому зменшенні кінематичного коефіцієнту відбувається подальше збільшення швидкості проковзування, що призводить до проявів ефекту «загладжування» мікронерівностей обробленої поверхні, але при цьому зростає температура в зоні контакту і проявляється адгезійне схоплювання задньої поверхні чашки ротаційного різця і обробленої поверхні заготовки, що звичайно призводить до «виривань» часток матеріалу і зростання висоти мікронерівностей.

ВИСНОВКИ. У результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень:

1. Отримано залежність, за якою можна розрахувати теоретичну висоту мікронерівностей H_p .

2. Розроблено математичну модель залежності шорсткості обробленої поверхні, що отримується у результаті керованого ротаційного точіння R_z від кінематичного коефіцієнта, подачі інструменту, глибини різання.

3. Досліджено параметри якості обробленої поверхні заготовок із сталі 110Г13Л у результаті виконання керованого процесу ротаційного різання при додатних і від'ємних значеннях кінематичного коефіцієнта.

4. При від'ємних значеннях K шорсткість поверхні вища при однакових значеннях інших вхідних параметрів процесу керованого ротаційного різання (S , t). Менша шорсткість досягається при додатних значеннях кінематичного коефіцієнту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федотьева Л.П. Современный стан и перспективные методы обработки высокомарганцевых сталей // Вісник КДПУ. – Вип. 6/2006 (41), ч. 1. – С. 31–36.
2. Федотьева Л.П. Моделирование керованого процесу ротаційного різання // Вісник КДПУ. – Вип. 2/2007 (43), ч. 2. – С. 72–76.
3. Федотьева Л.П., Надеин В.С., Федотьев А.М. Визначення меж раціонального використання керованого процесу ротаційного різання // Резание и инструмент в технологических системах: Международный научно-технический сборник. Вып. 75. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – С. 420–427.

4. Федотьева Л.П., Надеин В.С. Визначення раціональних енергетичних параметрів керованого ротаційного різання високомарганцевих сталей // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 22 – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 96–101.

5. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.

6. Дифференциальное и интегральное исчисление. Для ВТУЗОВ. Т. 1 / Н.С. Пискунов – М.: Наука, 1966. – 552 с.

7. Запорожец Г.И. Руководство к решению задач по математическому анализу. – М.: Высшая школа, 1966. – 464 с.

8. ГОСТ 19300–86. Средства измерений шероховатости профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры.

9. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.

REFERENCE

1. Fedot'eva L.P. Modern state and perspective methods of treatment highmanganese steels // KSPU. – Ed. 6/2006 (41), Part 1. – P. 31–36 [in Ukrainian].

2. Fedot'eva L.P. Simulation of the controlled process rotary cutting // KSPU. – Ed. 2/2007 (43), Part 2. – P. 72–76 [in Ukrainian].

3. Fedot'eva L.P., Nadein V.S., Fedot'ev A.M. Delimitation of rational use of controlled process rotary cutting // Cutting and tool in technological systems. International Science and Technology Collection. Ed. 75. – Kharkov: NTU "KPI", 2008. – P. 420–427 [in Ukrainian].

4. Fedot'eva L.P., Nadein V.S. Determination of rational energy parameters controlled rotary cutting highmanganese steels // Scientific Papers Kirovohrad National Technical University. Engineering in agriculture, industry engineering, automation. – Ed. 22 – Kirovograd: KNTU, 2009. – P. 96–101 [in Ukrainian].

5. Makarov A.D. Optimization of the cutting process. – М.: Mashinostroenie, 1976. – 278 p. [in Russian].

6. Differential and integral calculus: For higher technical schools. T. I / N.S. Piskunov. – М.: Nauka, 1966. – 552 p. [in Russian].

7. Zaporozhets G.I. Guide to solving problems in mathematical analysis. – М.: High school, 1966. – 464 p. [in Russian].

8. GOST 19300–86. Means of measurement roughness profile method. Profiling-contact profilers. Types and basic parameters.

9. Katsev P.G. Statistical methods of cutting tools. – М.: Mechanical Engineering, 1974. – 240 p. [in Russian].

Стаття надійшла 03.02.2011.

Рекомендована до друку
д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.