

В. Голубець

Професор, д-р техн. наук,
Національний лісотехнічний
університет України,
м. Львів

Я. Шахбазов

Професор, д-р техн. наук

А. Стецько

Інженер

Українська академія
друкарства,
м. Львів

УДК 621

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ВІДНОВЛЕНИХ МЕТОДОМ ХІМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ І ДИFUЗІЙНОГО ХРОМУВАННЯ

Досліджено вплив режимів різання та геометричних параметрів інструмента на шорсткість оброблених поверхонь деталей, відновлених комплексним методом хімічного оброблення і дифузійного хромування.

поверхня деталі, хімічне оброблення, дифузійне хромування

Сучасні машини і механізми працюють при високих швидкостях і питомих тисках. Після вичерпання свого ресурсу постає питання про їхнє відновлення. Оптимальним вирішенням цієї проблеми є створення відновлених поверхонь, які за своїми характеристиками були б не лише не гіршими за нові, але й переважали їх. Такі умови висувають високі вимоги до фізико-механічних характеристик відновлених поверхонь спряжених деталей.

Для відновлення поверхонь деталей машин запропоновано комплексний метод хімічного оброблення і дифузійного хромування [1, 2]. При реалізації режимів відновлення на зношеній поверхні деталі утворюється відновлений шар, зовнішня зона якого є акомпозиційною (карбіди хрому).

Обробленню зміцнених шарів на відновлених деталях машин слід надавати особливу увагу. Від геометричних характеристик оброблюваних поверхонь, а також їхніх фізико-механічних характеристик (внутрішні мікронапруження, енергетичний стан шару тощо), залежатиме працездатність деталей.

Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик деталей машин тісно пов'язане із забезпеченням параметрів стану поверхневого шару [3]. Тому потрібно розглянути теоретичні аспекти взаємозв'язку параметрів

стану поверхневого шару деталей з умовами їхнього оброблення, які визначають експлуатаційні властивості.

Аналіз результатів досліджень з формування висоти профілю шорсткості при різних методах оброблення [4 — 10] дає підстави зробити висновок, що на утворення шорсткості при всіх методах механічного оброблення впливають такі чинники: геометрія робочої поверхні інструмента й кінематика його робочого руху; коливальні переміщення інструмента відносно оброблювальної поверхні; пружні та пластичні деформації оброблюваного матеріалу в зоні контакту з робочим інструментом; шорсткість робочої частини інструмента; вириви частин оброблюваного матеріалу.

При виборі технологічних умов оброблення відновленого шару, отриманого методом хімічного оброблення і дифузійного хромування, слід враховувати його морфологію і фізико-механічні властивості, що не розглядалися у вищезазначених працях.

Мета статті — дослідити вплив режимів різання на шорсткість поверхневого шару, відновленого комплексним методом хімічного оброблення і дифузійного хромування.

Результати дослідження. Залежно від умов оброблення ступінь впливу кожного зі згаданих вище чинників

на утворення шорсткості буде різною. Перші чотири чинники викликають утворення систематичної складової профілю шорсткості, яку можна описати математично. П'ятий чинник викликає утворення випадкової складової профілю і визначає розкид або дисперсію параметрів шорсткості.

Вихідна схема для розрахунку систематичної складової профілю шорсткості при механічному обробленні показує, що висота профілю шорсткості визначається рівнянням [6]

$$Rz = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (1)$$

де h_1, h_2, h_3, h_4 — складові профілю шорсткості, обумовлені формою інструмента і кінематикою його переміщення, коливанням інструмента, деформаціями матеріалу в зоні контакту з інструментом, шорсткістю робочої частини інструмента.

В [11] теж розглядаються закономірності утворення шорсткості: з положенням різальних кромки інструмента відносно обробленої поверхні; пружними і пластичними деформаціями оброблюваного матеріалу; виникненням вібрацій у технологічній системі. Автор подає утворення нерівностей обробленої поверхні в першому наближенні як слід робочого руху різальної кромки інструмента в поверхневому шарі металу, який він називає регулярним. На утворення регулярного профілю шорсткості впливає геометрія різальної частини інструмента, в т.ч. головний і допоміжний кути в плані ϕ і ϕ_1 , радіус вершини різця r_e і подача S :

$$Rz_{розрах} = \frac{S \sin \phi \sin \phi_1}{\sin(\phi + \phi_1)}. \quad (2)$$

Для тонкого точіння

$$h_1 = \frac{S^2}{8r_e} + \frac{a_{min}}{2} \left(1 + \frac{r_e a_{min}}{S^2} \right), \quad (3)$$

де a_{min} — мінімальна товщина зрізу,

$$a_{min} = KS \sqrt{\frac{t}{2r_B}}. \quad (4)$$

Тут K — коефіцієнт, що враховує зменшення розмірів перерізу зрізу і механічні властивості оброблюваного матеріалу; t — глибина різання.

З формули (3) випливає, що чим більше S і менше r_e , тим висота нерівностей більша, і навпаки (рис. 1).

При обробленні різцями складова висоти профілю шорсткості h_2 визначається амплітудою коливань від частоти λ збурювальної сили, що викликається різницею припуску при проходженні вершини різця по виступу або западині вихідної шорсткості й нерівномірністю твердості заготовок як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках [12, 13]:

$$h_2 = \frac{h_2'}{\sqrt{\left(1 - \frac{\lambda^2}{\omega^2}\right)^2 + T_h^2 \lambda^2}}, \quad (5)$$

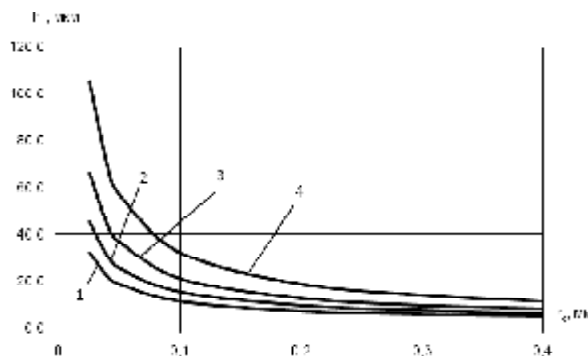


Рис. 1. Вплив форми інструмента й кінематики його переміщення на складову шорсткості h_1 : 1 — $S_1=0,065$ мм/об, 2 — $S_2=0,08$ мм/об, 3 — $S_3=0,1$ мм/об, 4 — $S_4=0,13$ мм/об; $t=0,05$ мм/об.

де ω — частота власних коливань; T_h — стала часу демпфування; h_2' — статичне переміщення інструмента під дією різниці діючих радіальних сил ΔP_y :

$$h_2' = \frac{c_y S^{Y_{py}} \vartheta^{Z_{py}} \left[HB_{max}^n t^{X_{py}} - HB_{min}^n (t - R_{вус})^{X_{py}} \right]}{HB_{сер}^n} \times \left(\frac{1}{j_{верст}} + \frac{1}{j_{інстр}} + \frac{1}{j_{заг}} \right). \quad (6)$$

Тут $R_{вус}$ — вихідна висота нерівностей профілю шорсткості; $j_{верст}, j_{інстр}, j_{заг}$ — жорсткість верстата, інструмента й заготовки.

Як показано в [3], складова профілю h_2 при шліфуванні (де створюється вібрація набагато більша за амплітудою, ніж при точінні) є на порядок меншою, ніж h_1 і h_3 (складає за даними автора 0,0015 — 0,0017 мкм). У нашому випадку при точінні ця величина буде ще меншою. Приймаючи це до уваги, при точінні можна знехтувати цією складовою.

Величину пластичного відтиснення при різанні визначаємо за формулою [14, 15]

$$b_{зсуг} = 0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right), \quad (7)$$

де ρ — радіус заокруглення різальної кромки інструмента.

Відомо, що радіус заокруглення різальної кромки лека змінюється в процесі його роботи. Проведені експериментальні дослідження дали можливість встановити, що сформований радіус заокруглення різальної кромки залежить в основному від оброблюваного матеріалу та матеріалу різального лека інструмента.

Пластичне відтиснення оброблюваного матеріалу в зоні різання призводить до збільшення висоти утворюваної шорсткості на величину h_3 [3].

Так, при обробленні різцями складова висоти шорсткості h_3 розраховується за формулами:

$$\text{— при } \phi < \arcsin \frac{S}{2r} \text{ і } \phi_1 < \arcsin \frac{S}{2r}$$

$$h_3 = \frac{b_{зсуг}}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1}}; \quad (8)$$

— при $\varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}$ і $\varphi_1 \geq \arcsin \frac{S}{2r}$

$$h_3 = \frac{b_{зсуг} (2S + b_{зсуг})}{32r}; \quad (9)$$

— при $\varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}$ і $\varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2r}$

$$h_3 = \frac{b_{зсуг}}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}}. \quad (10)$$

Для нашого випадку при $\varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}$ і

$\varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2r}$ на складову шорсткості h_3 впливає радіус вершини різця та подача і зовсім неістотно — допоміжний кут в плані φ_1 . Побудуємо теоретичні графіки залежностей h_3 від r_e та S (рис. 2). З графіків випливає, що зі збільшенням подачі і радіуса при вершині різця величина h_3 зростає.

Згідно з [16, 17] тиски в контактних зонах при механічному обробленні достатньо високі — сягають декількох гігаскалів, тому оброблюваний матеріал щільно заповнює нерівності контактних поверхонь інструмента. Відповідно на поверхні деталі повністю відтворюватиметься шорсткість робочої поверхні інструмента.

Отже, враховуючи, що h_4 при обробленні різцями визначається висотою нерівностей і профілю шорсткості на їхній вершині, загальні рівняння матимуть такий вигляд:

— при $\varphi < \arcsin \frac{S}{2r}$ і $\varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2r}$

$$h_4 = \frac{r(1 - \cos \varphi)}{\cos \varphi} + \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1 [S - r(\sin \varphi + \sin \varphi_1)] - r \cdot \operatorname{tg}(\cos \varphi_1 - \cos \varphi)}{\cos \gamma (\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi)} \right) +$$

$$\left\{ \frac{c_y S^{y_p} V^{z_p} \left[HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n \left(t - \frac{Rz_{\text{еиx}}}{10^3} \right)^{x_p} \right]}{HB_{\text{сеп}}^n} \times \left(\frac{1}{j_{\text{верст}}} + \frac{1}{j_{\text{инстр}}} + \frac{1}{j_{\text{заг}}} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right)}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1}} + Rz_{bp}; \quad (11)$$

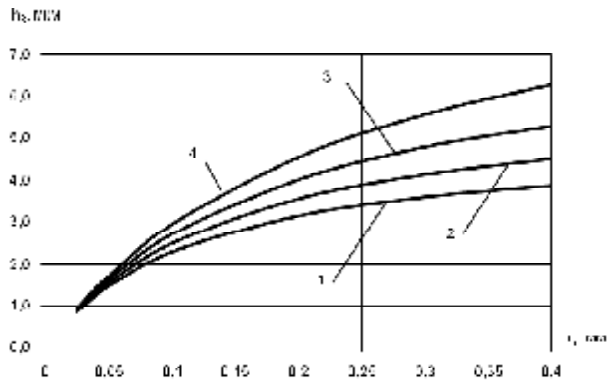


Рис. 2. Вплив радіуса вершини r_e на пружну деформацію матеріалу h_3 : 1 — $S_1=0,065$ мм/об, 2 — $S_2=0,08$ мм/об, 3 — $S_3=0,1$ мм/об, 4 — $S_4=0,13$ мм/об.

— при $\varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}$ і $\varphi_1 \geq \arcsin \frac{S}{2r}$

$$h_4 = \frac{1}{\cos \gamma} - \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2 \cos \gamma} + \frac{c_y S^{y_p} V^{z_p}}{HB_{\text{сеп}}^n} \left[HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n \left(t - \frac{Rz_{\text{еиx}}}{10^3} \right)^{x_p} \right] \times \left(\frac{1}{j_{\text{верст}}} + \frac{1}{j_{\text{инстр}}} + \frac{1}{j_{\text{заг}}} \right) + \frac{0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right) \left(2S + 1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right)}{32r} + Rz_{bp}; \quad (12)$$

— при $\varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}$ і $\varphi_1 < \arcsin \frac{S}{2r}$

$$h_4 = \frac{\left\{ r(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 \left[S \cos \varphi_1 - \sqrt{S \sin \varphi_1 (2r - S \sin \varphi_1)} \right] \right\}}{\cos \gamma} \times$$

$$\left\{ \frac{c_y S^{y_p} V^{z_p} \left[HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n \left(t - \frac{Rz_{\text{еиx}}}{10^3} \right)^{x_p} \right]}{HB_{\text{сеп}}^n} \times \left(\frac{1}{j_{\text{верст}}} + \frac{1}{j_{\text{инстр}}} + \frac{1}{j_{\text{заг}}} \right) \right\} \times$$

$$\times \frac{0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right)}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}} + Rz_{bp}. \quad (13)$$

Узагальнене рівняння для визначення шорсткості обробленої поверхні з врахуванням її складових має вигляд

$$Rz = \frac{S^2}{8r_g} + \frac{a_{min}}{2} \left(1 + \frac{r_g a_{min}}{S^2} \right) + \frac{b_{зсуг}}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}} + \frac{r(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 \left[S \cos \varphi_1 - \sqrt{S \sin \varphi_1 (2r - S \sin \varphi_1)} \right]}{\cos \gamma} \times \left\{ c_y S^{y_p} V^{z_p} \left[HB_{max}^n t^{x_p} - HB_{min}^n \left(t - \frac{Rz_{max}}{10^3} \right)^{x_p} \right] \times \left[\frac{1}{j_{верст}} + \frac{1}{j_{инстп}} + \frac{1}{j_{заг}} \right] \right\} \times \frac{1}{HB_{сер}^n} \times \frac{0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right)}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}} + Rz_{bp} \quad (14)$$

Складова шорсткості робочої частини інструмента h_4 , як показали теоретичні дослідження (рис. 3), в основному залежить від вихідної шорсткості робочої частини інструмента. Від інших чинників (режимів різання, геометричних параметрів інструмента) величина шорсткості змінюється на тисячні і десятитисячні частки мікрона.

Згідно з [18] $j_{верст} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/мм} = 23,554 \text{ кН/мм}$ [19]; $j_{заг} = 48000D(D/L)^3 = 3151,9 \text{ кН/мм}$, $j_{ин} = 3000D(d/l)^3 = 964,4 \text{ кН/мм}$ згідно з [20].

Графіки, отримані за теоретичними розрахунками, показують зменшення шорсткості обробленої поверхні деталі, відновленої комплексним методом хімічного оброблення і дифузійного хромування зі зменшенням подачі S і збільшенням радіуса при вершині різця r .

Мінімальна шорсткість лезового механічного оброблення відновленої поверхні деталей машин комплексним

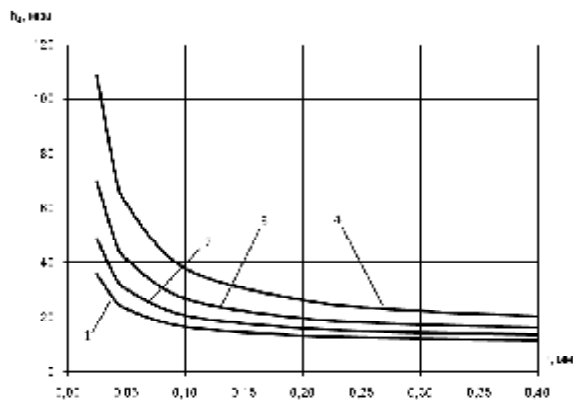


Рис. 3. Вплив режимів різання на шорсткість обробленої поверхні h_4 : 1 — $S_1=0,065$ мм/об; 2 — $S_2=0,08$ мм/об; 3 — $S_3=0,1$ мм/об; 4 — $S_4=0,13$ мм/об; $t=0,05$ мм/об.

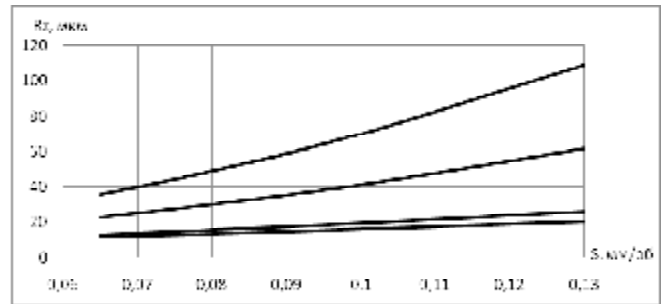


Рис. 4. Вплив режимів різання на шорсткість обробленої поверхні Rz : 1 — $r_1=0,025$ мм/об; 2 — $r_2=0,05$ мм/об; 3 — $r_3=0,2$ мм/об; 4 — $r_4=0,4$ мм/об; $t=0,05$ мм/об.

методом хімічного оброблення і дифузійного хромування забезпечується при подачі $S=0,065$ мм/об і менше, глибини різання $t=0,05$ мм та обертах шпинделя не нижче 1000 хв^{-1} . При цьому слід забезпечувати радіус вершини різця в межах $0,2 \dots 0,4$ мм. За таких умов забезпечується шорсткість поверхні не вище $Rz=10$ мкм, або $Ra < 2$ мкм (рис. 4).

Одним з найважливіших показників при обробленні різанням є глибина різання. Вона певним чином впливає на всі вихідні характеристики процесу оброблення — сили різання, температуру в зоні різання, інтенсивність зношування інструмента, стан обробленої поверхні. Для випадку оброблення композиційних зміцнених шарів вплив глибини різання буде не таким превалюючим. Це пов'язано з морфологією зміцнених шарів, які не дають можливості проводити оброблення з товщинами більшими, ніж $0,05 \text{—} 0,1$ мм.

Основне завдання композиційної зони, отриманої після комплексного методу хімічного оброблення і дифузійного хромування, відновлення поверхонь деталей машин — забезпечити добрі умови роботи пари тертя в жорстких умовах реверсивного руху.

Для підтвердження отриманих теоретичних залежностей з визначення шорсткості обробленої поверхні нами були проведені експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів процесу на формування параметра Rz . Оброблення поверхонь відновленого зразка (сталь 45) після хімічного оброблення й дифузійного хромування за режимами ($T=1050$ °С, $\tau=7$ год) з використанням ізотермічної витримки ($T=800$ °С, $\tau=1$ год) проводили на токарно-гвинторізальному верстаті 1А616П з керуванням обертів шпинделя електромагнітними муфтами.

Оптимальними є режими оброблення: $n=1200 \text{—} 1400 \text{ хв}^{-1}$, тобто швидкість різання $V=140 \text{—} 200$ м/хв. Як різальний інструмент, враховуючи високу твердість шару отриманого після відновлення, при обробленні застосовували прохідний різець з надтвердого матеріалу (кубічний нітрид бору) — композит 10.

Для досягнення потрібної шорсткості оброблених поверхонь, як показали експериментальні дослідження, слід застосовувати верстати, які мають такі параметри: жорсткість токарних верстатів повинна бути не меншою за 22 кН/мм , а розточувальних — $14,5 \text{ кН/мм}$; амплітуда коливань верстата не повинна перевищувати 5 мкм, а радіальне й осьове биття шпинделя не повинно бути

більшим 5 — 8 мкм для токарних і 3 — 5 мкм — для розточувальних верстатів. Цим вимогам відповідають більшість верстатів, в тому числі універсальні.

Висновки. 1. Теоретично досліджено вплив технологічних параметрів процесу оброблення на шорсткість обробленої поверхні. Встановлено, що найбільший вплив на кінцеву шорсткість обробленої поверхні мають геометричні параметри інструмента й кінематика його переміщення.

2. Обґрунтовано вибір верстатів для механічного оброблення відновленої поверхні.

3. На основі експериментальних досліджень, встановлені режими механічного оброблення при яких забезпечується шорсткість обробленої поверхні в межах $R_z = 8 \dots 10$ мкм, що є прийнятними для більшості пар тертя.

Література

1. *Стецьків О.П., Манько О.В., Стецько А.С.* Спосіб отримання комбінованого покриття на залізвуглецевих сплавах. Деклараційний патент на винахід 38153 А, Бюл. №4 від 15.05.2001 р., код С23С10/02, С23С 10/00.

2. *Стецько А.С., Манько О.В.* Спосіб отримання композиційного дифузійного покриття на швидкозношувальних поверхнях деталей із залізвуглецевих сплавів. UA 77102 С2 Патент України на винахід № 77102. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 16 жовтня 2006 р., код С23С 10/02.

3. *Суслов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. — М.: Машиностроение, 2000. — 320 с.

4. *Безъязычный В.Ф.* Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя. — Ярославль: ЯПИ, 1978. — 86 с.

5. www.art-distar.ru

6. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания. — М.: Машиностроение 1976. — 278 с.

7. *Маталин А.А.* Технология механической обработки. — Л.: Машиностроение. — 1977. — 460 с.

8. *Мухин В.С.* Качество поверхностного слоя при механической обработке жаропрочных сплавов и влияние его на эксплуатационные свойства материалов и деталей авиационных двигателей: Автореф. дис... д-ра техн. наук. — Уфа, 1974. — 21 с.

9. *Силин С.С.* Метод подбора при резании металлов. — М.: Машиностроение, 1979. — 153 с.

10. *Шнейдер Ю.Г.* Образование регулярных микро-рельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. — Л.: Машиностроение, 1972. — 210 с.

11. *Ящерицын П.И. и др.* Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. Для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. — Мн.: Выш. шк., 1990. — 512 с.

12. *Кудинов В.А.* Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1967. — 360 с.

13. *Чернянский П.М.* Жесткость в технологии машиностроения // Технология металлов. — 2001. — №4. — С. 34—37.

14. *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Основы расчетов на трение и износ. — М.: Машиностроение, 1977. — 526 с.

15. *Михин Н.М.* Внешнее трение твердых тел. — М.: Машиностроение, 1977. — 220 с.

16. *Резников А.Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов. — М.: Машиностроение, 1981. — 278 с.

17. *Стариков В.К.* Дислокационные представления о резании металлов. — М.: Машиностроение, 1979. — 160 с.

18. *Лещинер Я.А., Свиринский Р.М., Ильин В.В.* Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов. — К.: Техніка, 1981. — 120 с.

19. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т. 1. — 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001. — 920 с.

Отримана 17.09.08

V. Holubec¹, Ja. Shahbazov², A. Stecko²

Technological providing of machine elements surfaces quality picked up a thread by the method of chemical treatment and diffusive chrome-plating

¹National Forestry University of Ukraine, Lviv;

²Ukrainian Academy of Printing, Lviv

Investigational influence of the modes of cutting and geometrical parameters of instrument on the got roughness of the treated surfaces of details, picked up thread by the complex method of chemical treatment and diffusive chrome-plating.

²í ôî ðî àö³ÿ

EUROMECH colloquim

MULTISCALE EFFECTS IN FATIGUE METALS

5 July 2010 — 9 July 2010

Location: Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

Contact: Chairperson: *Dr. Andrei Constantinescu*
CNRS Ecole Polytechnique

Laboratoire de Mécanique des Solides

91128 Palaiseau cedex, France

phone: +33 1 69 33 57 56 fax: +33 1 69 33 57 06

Email: andrei.constantinescu@lms.polytechnique.fr

Co-Chairperson:

Dr. Pedro Donatella Portella

German Federal Institute for Material Research and
Testing,

Berlin, Germany

Website: <http://www.lms.polytechnique.fr>