

А. Є. СТЕЦЬКО, Львів, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В ПРОЦЕСІ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

У роботі теоретично розглянуто та експериментально підтверджено вплив режимів різання для формування якісних показників композитних покриттів поверхонь деталей машин, отриманих після комплексного методу виготовлення та відновлення.

В работе теоретически рассмотрено и экспериментально подтверждено влияние режимов резания для формирования качественных показателей композитных покрытий поверхностей деталей машин, полученных после комплексного метода изготовления и восстановления.

The paper examined theoretically and experimentally confirmed the influence of cutting conditions for the formation of composite quality indicators of surface coatings of machine parts, obtained after a comprehensive method of production and recovery.

Актуальність проблеми. Пріоритетним напрямком розвитку машинобудування є впровадження прогресивних технологій. Це стосується як нових технологій виготовлення, зміцнення та відновлення деталей машин, так і вдосконалення технологій механічної обробки. З вдосконаленням машин об'єм механічної обробки збільшується, на перший план виходять фінішні процеси. На сьогодні в промисловому виробництві широко застосовуються матеріали з гетерогенною структурою, які мають високу стійкість в умовах інтенсивного зношування. Проте на сьогодні недостатньо розвинутими є способи формування гетерогенних покриттів та методи їх механічної обробки.

Аналіз публікацій. Як вказано в роботах [1], [2], деталі з композитними покриттями володіють високими експлуатаційними характеристиками, що значно підвищує їхню зносостійкість і забезпечує підвищений ресурс роботи.

Цілий напрям досліджень стосується створення евтектичних сплавів і покриттів [3], які мають високу твердість і зносостійкість, підвищують ресурс роботи деталей машин при їхній експлуатації в екстремальних умовах контактної взаємодії, в т.ч. при ударних навантаженнях та при дії абразивного середовища, а також велику товщину (до 3000 мкм). Але

спосіб неможливо використовувати для зміцнення внутрішніх циліндричних поверхонь і деталей складного профілю.

Для створення на поверхнях деталей композитних електролітичних покриттів [4], що полягає в нанесенні хрому та його сульфідів сумісно у вигляді дисперсної суміші газотермічним, електроіскровим або іонно-плазмовим методом. Для отримання дисперсної суміші синтезують сульфід хрому, отриманий спечений матеріал подрібнюють, змішують з порошком хрому (1,0 – 50,0% мас. хрому і решта – сульфід хрому).

Процесами обробки важкооброблюваних матеріалів займаються ряд вчених. Аспекти обробки гетерогенних покриттів інструментом, оснащених пластинами з твердих сплавів та інструментом з надтвердих матеріалів висвітлено в роботі [5]. Автори наводять дані про чорнову обробку гетерогенних покриттів інструментом, оснащених пластинами з твердих сплавів – груп ВК і ТТК. Чистову обробку гетерогенних покриттів, коли потрібно зрізати малі припуски, проводять інструментом з полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), який дозволяє підвищити продуктивність механічної обробки за рахунок підвищення швидкості різання. При цьому знижується собівартість механічної обробки. У роботі показано, що при точінні кристалічних покриттів на контактних ділянках інструменту з ПНТМ на основі кубічного нітриду бору (КНБ), на відміну від інших видів інструментальних матеріалів, не спостерігається слідів адгезійного зношування. Також досліджено, що з підвищенням швидкості різання зменшується вплив неоднорідності структури оброблюваного матеріалу на інтенсивність зношування інструменту.

Автори [6] вказують, що для лезової обробки деталей із загартованих сталей, чавунів і напиленими покриттями на основі Fe, Co і Ni застосовують інструменти, оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами на основі щільних модифікацій нітриду бору – вюрцитоподібної та сфалеритної. Застосовуючи даний інструмент підвищується продуктивність процесу механічної обробки за рахунок суттєвого підвищення швидкості різання. Поряд з тим, авторами відзначено, що обробку інструментами з надтвердих матеріалів слід проводити на верстатах підвищеної жорсткості.

У роботі [7] наведено результати проведених досліджень процесу точіння покриттів з аморфно-кристалічною структурою (систем Fe-B, Fe-Si-B, Fe-Cr-B). Для цього використовувалися інструменти з ПНТМ на основі КНБ. Глибини різання, через невеликі товщини покриття не

перевищували десятих долей міліметра. Отримані вторами результати свідчать, що особливості структури покриттів суттєво обумовлюють шорсткість обробленої поверхні. Зростання значення фрактальної розмірності сукупності механічних властивостей матеріалу покриття D_s , яка характеризує гетерогенність його структури, значно збільшується висота мікронерівностей та спостерігається зменшення впливу режимів різання на шорсткість обробленої поверхні. Автори роблять висновок, що точіння інструментами, оснащеними ПНТМ на основі КНБ – ефективний метод обробки покриттів з структурою, близькою до композитної (наявністю твердої та м'якої фаз), який забезпечує можливість отримання стану поверхневого шару з потрібними по умовам експлуатаційного навантаження деталей параметрами.

У роботі [8] наведено результати з цілого комплексу досліджень точіння загартованих сталей, відбілених чавунів, нікелевих сплавів, неметалічних матеріалів. Доказано, що одним з ефективних способів підвищення продуктивності обробки за рахунок скорочення основного часу є застосування високих швидкостей обробки, а це для даних видів деталей є можливим при застосуванні різальних інструментів оснащених надтвердими матеріалами на основі КНБ.

Як видно із розглянутих досліджень авторів, на даний момент створення композитних покриттів на поверхнях деталей машин проводиться із застосуванням прецизійних вартісних технологій, які вимагають спеціального обладнання та високої кваліфікації працівників.

Для механічної обробки композитних покриттів слід застосовувати інструменти із ПНТМ на основі кубічного нітриду бору, що дозволяють ефективно обробляти широку гаму сучасних конструкційних матеріалів з високими механічними властивостями (в тому числі високої поверхневої твердості).

Мета досліджень. Розробка сучасного і доступного методу отримання і режимів механічної обробки композитних покриттів високої інтегральної твердості для отримання потрібних якісних показників робочих поверхонь деталей машин.

Виклад основної частини. Комплексний метод хімічної обробки і дифузійного хромування полягає у двох послідовних етапах: нанесення на поверхню зміцнювального зразка нікелькобальтфосфорного хімічного покриття товщиною біля 10–12 мкм способом хімічного осадження і наступного дифузійного хромування у порошковому середовищі в ретортах з плавким затвором [9].

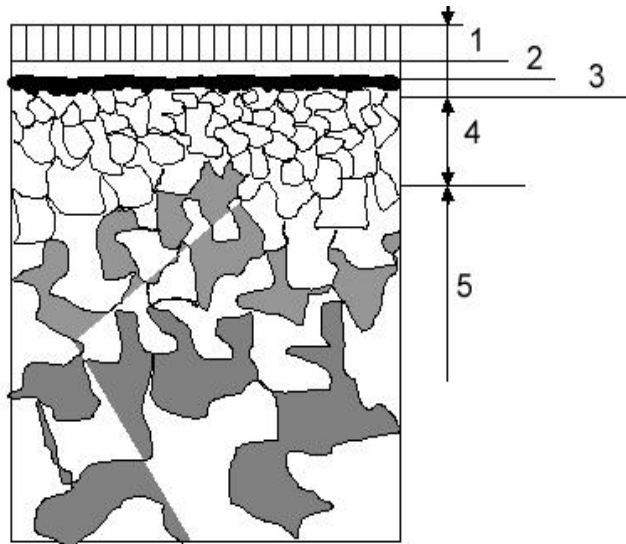


Рисунок 1 – Будова зміцненого шару, отриманого комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування (1 – композитна зона; 2 – зона твердого розчину хрому в α -залізі; 3 – евтектоїдна зона; 4 – знеуглецьована зона; 5 – серцевина деталі)

У результаті утворюється зміцнене покриття, що складається з 4-ох зон (рис. 1): зовнішня композитна зона 1, яка складається із стовпчастих карбідів хрому в матриці твердого розчину Cr в α -Fe товщиною до 250 мкм та інтегральною мікротвердістю 12 ГПа; зона 2 твердого розчину хрому в α -залізі товщиною 30-40 мкм та мікротвердістю 4,5 ГПа; евтектоїдна зона 3 товщиною біля 30 мкм та мікротвердістю 4 ГПа і знеуглецьована зона 4 товщиною 160–180 мкм та мікротвердістю 1,4–1,6 ГПа за феритною складовою і серцевина деталі 5. Композитна будова зони 1 дозволяє значно підвищити ресурс роботи завдяки релаксації накопичених у ході роботи внутрішніх мікронапружень у м'якій фазі – твердому розчині хрому в α -залізі, в той час, коли основне навантаження буде сприймати тверда фаза – стовпчасті зерна карбиду хрому високої твердості (біля 18 ГПа).

Аналіз результатів досліджень із формування висоти профілю шорсткості використаний різними авторами при відповідних методах обробки [10], [11] дозволяє зробити висновок, що на утворення шорсткості при певних методах механічної обробки впливають такі фактори: геометрія робочої поверхні інструмента та кінематика його робочого руху; коливальні переміщення інструмента відносно оброблювальної поверхні; пружні та пластичні деформації оброблювального матеріалу в зоні контакту з робочим інструментом; шорсткість робочої частини інструмента; вириви частин оброблювального матеріалу. Враховуючи

вищенаведені фактори, отримано [12] узагальнену залежність розрахунку кінцевої шорсткості обробленої поверхні:

$$\begin{aligned}
 Rz = & \frac{S^2}{8r_\epsilon} + \frac{a_{\min}}{2} \left(1 + \frac{r_\epsilon \cdot a_{\min}}{S^2} \right) + \frac{b_{зцув}}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}} + \\
 & + \frac{r(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 \left[S \cos \varphi_1 - \sqrt{S \sin \varphi_1 (2r - S \sin \varphi_1)} \right]}{\cos \gamma} \times \\
 & \times \frac{c_y S^{y_p} V^{z_p} \left[HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n \left(t - \frac{Rz_{\text{вих}}}{10^3} \right)^{x_p} \right] \left(\frac{1}{j_{\text{верст}}} + \frac{1}{j_{\text{шнстр}}} + \frac{1}{j_{\text{заг}}} \right)}{HB_{\text{сер}}^n} \times \\
 & \times \frac{0,5\rho \left(1 - \frac{2\tau_0}{\sigma_T} \right)}{\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{2r}{S}} + Rz_{bp}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Після реалізації комплексного методу виготовлення деталей машин, реальний розмір заготовки зростає залежно від режимів обробки. Наприклад, для сталі 45 при 7 годинах дифузійного хромування при 1050°C та годинної ізотермічної витримки при 800°C за рецептурою хімічного покриття № 3 він складає 100 мкм, для У10 – 80 мкм (рис. 2).

Для розрахунку припуску на обробку слід виготовляти заготовку, враховуючи приріст реального розміру, а також припуск на механічну обробку для отримання на виготовленій деталі потрібної точності та шорсткості робочої поверхні.

Як видно з отриманих залежностей (рис. 2), для 7 год. дифузійного хромування приріст Δ реального розміру є достатнім для відновлення деталей до номінального розміру, а більше 7 год. є незначним (до 7-8 мкм).

Отримані в роботі залежності відносної зміни розміру ζ деталей після комплексної обробки (рис. 3) показують незначний приріст припуску на механічну обробку при відновленні деталей до номінального розміру, що підтверджує використання в якості різального інструменту різців з надтвердих матеріалів, які дозволяють зрізати мінімальні припуски завдяки малим радіусам заокруглення вершини різця:

$$\zeta = (d_{\text{заг.}} / d_{\text{дет.}}) \cdot 100\%, \tag{2}$$

де $d_{\text{заг.}}$ – розмір заготовки до застосування комплексного методу, мм; $d_{\text{дет}}$ – розмір деталі, зміцненої комплексним методом, мм.

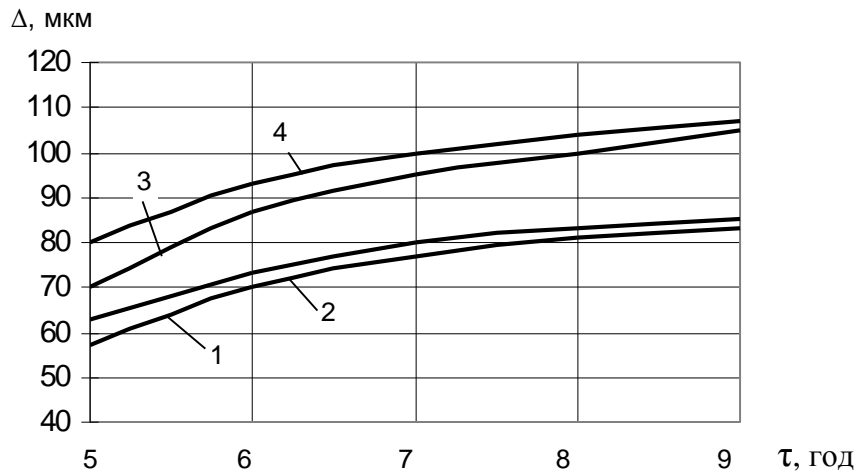


Рисунок 2 – Вплив комплексної обробки на приріст товщини зміцненого шару поверхні деталі для дифузійного хромування 5-9 год.: 1 – на сталі 45; 2 – на сталі 45 з ізоотермічною витримкою 1 год. на сталі 45; 3 – на сталі У10; 4 – з ізоотермічною витримкою 1 год. на сталі У10

Враховуючи те, що обробка даних шарів буде вестися: по-перше, для отримання оптимальної шорсткості робочих поверхонь деталі та її форми після утворення композитної зони після комплексного методу; по-друге, для обробки деталі з даним покриттям під ремонтний розмір (при потребі), процес слід проводити таким чином, щоб з поверхні виробу видалявся шар покриття не більше 0,05 мм, обробку слід проводити таким чином, щоб глибина різання була рівною 0,03–0,05 мм.

Обробка поверхні деталі, виготовленої комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування проводилася на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1А616П (рис. 4) із керуванням оборотів шпинделя електромагнітними муфтами, який відповідає вищевказаним вимогам.

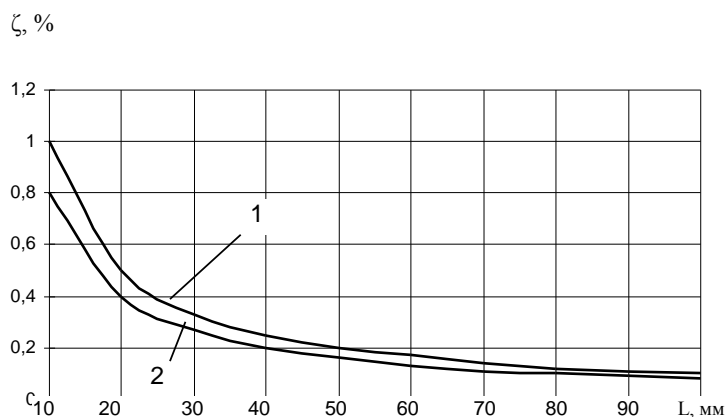


Рисунок 3 – Залежність відносної зміни розміру деталі після комплексної обробки від відновлюваного розміру деталі: 1 – для сталі 45 хімічне покриття і дифузійне хромування 7 год. з ізоотермічною витримкою 1 год.; 2 – для сталі У10 рецептури хімічне покриття і дифузійне хромування 7 год. з ізоотермічною витримкою 1 год.

Обробка зразків проводилася прохідним токарним різцем з пластинкою із надтвердого матеріалу композит 10 (передній кут $\gamma=-5$; головний задній кут $\alpha=15^\circ$; допоміжний задній кут $\alpha_1=15^\circ$; головний кут у плані $\varphi=30^\circ$; допоміжний кут у плані $\varphi_1=20^\circ$; кут нахилу головної різальної кромки $\lambda=0^\circ$; радіус при вершині різця $r=0,4$ мм).

Обробка зовнішніх поверхонь деталей (сталь 45 $\varnothing 47$ мм), після комплексного методу виготовлення і відновлення поверхні хімічною обробкою і дифузійним хромуванням ($T = 1050^\circ\text{C}$, $\tau = 7$ год.) із використанням ізотермічної витримки ($T = 800^\circ\text{C}$, $\tau = 1$ год.) проведена за режимами: подача $S = 0,065$ мм/об, глибина $t = 0,05$ мм. Профілограма (рис. 5) показала, що при застосуванні вищевказаних режимів механічної обробки зміцнених шарів комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування, величина шорсткості не перевищує 2 мкм, що підтверджує виконані теоретичні розрахунки.

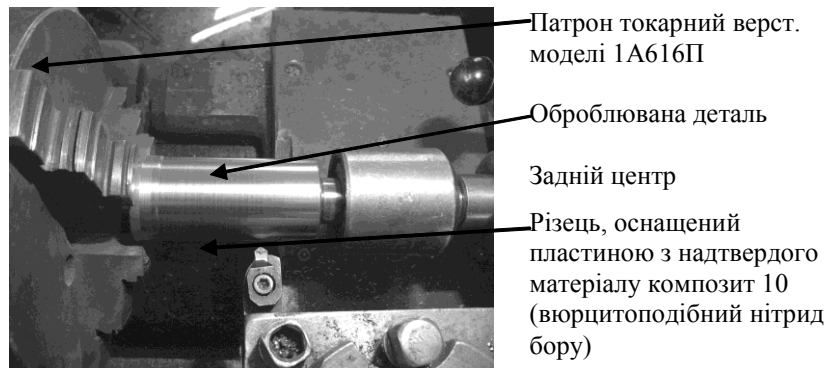


Рисунок 4 – Обробка поверхонь деталей, виготовлених комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування на токарно-гвинторізнному верстаті моделі 1А616П

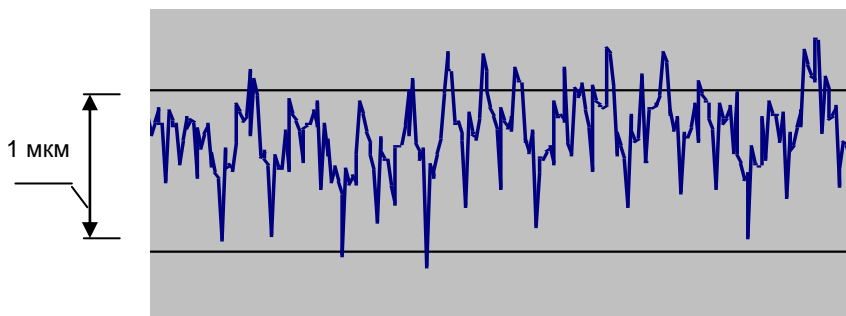


Рисунок 5 – Профілограма шорсткості поверхні зразка зі сталі 45 виготовленої комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування після механічної обробки – точіння, виконаного за режимами: $S = 0,065$ мм/об., $t = 0,05$ мм, $V = 200$ м/хв., $\gamma=-5$; $\alpha=15^\circ$; $\alpha_1=15^\circ$; $\varphi=30^\circ$; $\varphi_1=20^\circ$; $\lambda=0^\circ$; швидкість датчика–10 мм/хв; вертикальне збільшення–4 000; частота запису–20 Гц

Мінімальна шорсткість лезової механічної обробки зміцненої поверхні деталей машин комплексним методом хімічного оброблення і дифузійного хромування забезпечується при подачі – $S = 0,065$ мм/об. і менше, глибині різання – $t = 0,05$ мм та швидкості не нижче 150 м/хв. При цьому слід забезпечувати радіус вершини різця в межах 0,2...0,4 мм. При даних умовах забезпечується шорсткість поверхні не вище $Rz < 10$ мкм, або $Ra < 2$ мкм.

Порівняння залежностей шорсткості отриманої поверхні деталей, виготовлених комплексним методом після механічної обробки інструментом (крива 1) з вюрцитоподібного нітриду бору (композит 10) і отриманими теоретичними залежностями (крива 2) показує розбіжність результатів в межах 10 – 15% (рис. 6). Підвищення шорсткості поверхні при зростанні швидкості різання вище 220 м/хв. після механічної обробки пояснюється появою вібрації при зростанні обертів шпинделя, що і демонструє отримана залежність (крива 1) як на сталі 45, так і на сталі У10.

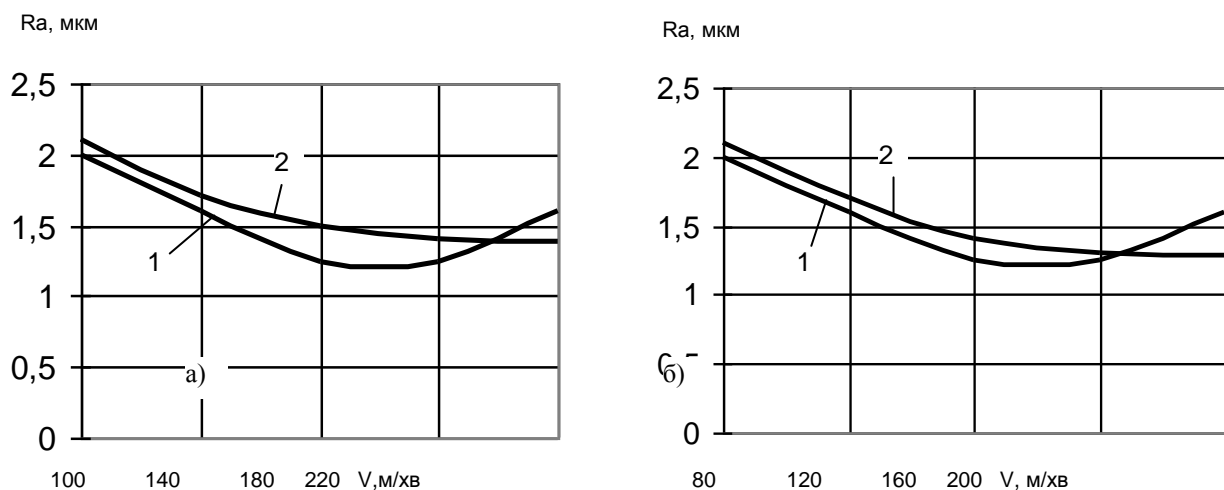


Рисунок 6 – Вплив швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні інструментом, оснащеним композитом 10 (вюрцитоподібний нітрид бору) на деталях зі сталі 45 (а) і У 10 (б), які виготовлені комплексним методом: хімічне покриття, режими дифузійного хромування: $T=1050^{\circ}\text{C}$, витримка $\tau=7$ год. (ізотермічна витримка $\tau=1$ год. при $T=800^{\circ}\text{C}$).

Висновки. Запропоновано комплексний метод хімічної обробки і дифузійного хромування для виготовлення та відновлення деталей машин, який полягає у хімічному покритті і наступному дифузійному хромуванні. У результаті на поверхнях деталей отримано зміцнені шари із зовнішньою

композитною зоною інтегральною мікротвердістю 12 ГПа, яка добре працює в умовах інтенсивного зношування.

За результатами механічної обробки деталей, зміцнених комплексним методом, встановлено раціональні режими механічної обробки для отримання оптимальної шорсткості, які підтверджують теоретичні розрахунки: подачу $S = 0,065$ мм/об; глибину різання $t = 0,05$ мм; швидкість різання: 150 – 200 м/хв.

Список літератури: 1. *Полевой С.Н., Евдокимов В.Д.* Упрочнение металлов. – М.: Машиностроение, 1986. – 320с. 2. *Дроздов Ю.Н. Усов С.В.* Использование комбинированных технологических методов для повышения износостойкости деталей машин // Вестн. машиностр.– 1985.– №10.– С.9-11. 3. *Пашечко М.И., Голубец В.М., Чернец М.В.* Формирование и фрикционная стойкость эвтектических покрытий. – Киев: Наук.думка, 1993. – 344с. 4. Патент України № 10751 А від 25.12.96. Спосіб одержання композиційних сульфідно-хромових покриттів. *Слинь І.Г., Березанська В.І.* 5. *Клименко С.А., Мельничук Ю.О., Встовський Г.В.* Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту. –Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2009. – 172 с. 6. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-ти томах. Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом. Монография. Под редакцией проф. док. техн. наук С.А. Клименко. Киев – 2006. – 317 с. (Усл. печ. л. 25,48). 7. *Н.В. Новиков, Ю.О. Мельничук, С.А. Клименко.* Технологічне управління станом поверхневого шару у процесі точіння покриттів з аморфно-кристалічною структурою. / Режим доступу до ресурсу: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Stvm/2008_1/articles%5C10.htm 8. *Ю.А. Мельничук.* Опыт высокоэффективной лезвийной обработки инструментом, оснащенный ПНТМ на основе КНБ и алмаза. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Збірник наукових праць. – Київ. – 2009. – 272 с. 9. Пат. №47261 А Україна, МПК С23С10/02. Спосіб отримання комбінованого покриття поверхонь деталей пар тертя із залізовуглецевих сплавів / *Стецьків О.П., Манько О.В., Стецько А.Є.*, -2001096617; Заявл. 27.09.2001, Опубл. 17.06.2002; Бюл. №6 –3 с. 10. *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.: ил. 11. *Суслов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.:Машиностроение, 2000. – 320с. 12. *Голубец В.М., Шахбазов Я.О., Стецько А.Є.* Технологічне забезпечення якості поверхонь деталей машин відновлених методом хімічного оброблення і дифузійного хромування // Машинознавство. – Львів, 2009.–№6. – С 29-33.