

УДК 621.923

А.П. Гавриш, д-р техн. наук, Т.А. Роїк, д-р техн. наук,
Ю.Ю. Віцюк, канд. техн. наук, С.М. Зигуля, Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ЗНОСОСТІЙКИХ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ З ЛЕГОВАНИХ ТИТАНОМ ТА ВОЛЬФРАМОМ КОМПОЗИТИВ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ

У статті наведені результати експериментального дослідження щодо оптимізації вибору абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей тертя технологічних комплексів, що виготовлені з нових композитних матеріалів типу 85Х6НФТ, 11Р3АМЗФ, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ, які леговані титаном, вольфрамом, молібденом і ванадієм та які синтезовані зі шламових відходів інструментальних сталей. Виявлені основні закономірності формування структури поверхневого шару композитних деталей, які повинні бути шліфованими з метою забезпечення високих вимог експлуатаційних параметрів якості поверхонь тертя та продуктивності оброблення.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по оптимизации выбора абразивных материалов для шлифования износостойких деталей трения технологических комплексов, которые изготовлены из новых композитных материалов типа 85Х6НФТ, 11Р3АМЗФ, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ, которые легированы титаном, вольфрамом, молибденом и ванадием и которые синтезированы из шламовых отходов инструментальных сталей. Выявлены основные закономерности формирования структуры поверхностного слоя композитных деталей, которые должны быть прошлифованы с целью обеспечения высоких требований эксплуатационных параметров качества поверхностей трения.

In the article the experimental research at choice of abrasive materials for grinding wear – resistant parts of the friction technological complexes, which were produced from new composite materials type 85Х6НФТ, 11Р3АМЗФ, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ which are alloyed by titanium, wolfram, vanadium and which were sintered on the using grinding wastes of instrumental steels has been presented. The main regularities of the formation of the high request exploitations parameters of the quality surfaces friction and, at first the productivity machining, have been determined.

Вступ

Однією з найголовніших проблем при створенні сучасного високоефективного обладнання для технологічних комплексів різних галузей народного господарства України є забезпечення високих показників їх надійності, довговічності, працездатності та ремонтоздатності. Особливо актуальною ця проблема постає, коли машини, їх деталі та механізми працюють у жорстких умовах експлуатації, коли температурне середовище забезпечує нагрівання поверхонь деталей тертя у межах 750 – 800 °С, питомих тисках 5 – 8 МПа, а робота складних машинних комплексів

відбувається при дії агресивного середовища (кисень повітря, виробничий пил з абразивною здатністю та ін.).

З цієї точки зору доцільно звернути увагу на створення за останні роки високозносостійких композиційних сплавів на основі штампових та швидкорізальних інструментальних сталей, легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом [1 - 6]. Саме для забезпечення вимог зносостійкості були проведені широкопланові дослідницькі роботи з розробки технології синтезу заготовок деталей тертя верстатного обладнання зі шламових відходів високолегованих інструментальних сталей, у складі яких присутні цінні легуючі елементи (титан, вольфрам, ванадій, молібден, ніобій, нікель тощо), і які є дешевою та вельми корисною вторинною сировиною для виготовлення різного типу конструкційних деталей. При цьому легуючі елементи нових високозносостійких сплавів утворюють в їх структурі чималу частку дрібнозернистих фаз-інтерметалідів. Усе це дозволило отримати високі фізико-механічні та антифрикційні властивості матеріалів, про що свідчать дані, наведені у таблиці.

Як відомо, параметри зносостійкості деталей тертя у машинах і механізмах сучасних технологічних комплексів визначаються не тільки функціональними можливостями матеріалів, з яких ці деталі виготовлено, а і параметрами якості їх поверхонь, що сформовані внаслідок механічного оброблення [6 - 9].

З цієї точки зору деталі з композитів, що мають у своєму складі зазначені вище легуючі елементи (в першу чергу титан і вольфрам) і належать до класу важкооброблюваних сплавів, вимагають особливого підходу до вибору типу абразивних інструментів, які мають бути застосовані для тонкої фінішної обробки робочих поверхонь тертя деталей.

Сьогодні призначення того, чи іншого абразивного інструмента (карбїду кремнію зеленого 63С, електрокорунду білого 32А, синтетичного алмазу АС чи кубічного нітриду бора ЛЮ, КНБ) здійснюється тільки з урахуванням умов формування найкращих параметрів якості оброблення (шорсткість, глибина та ступінь наклепу, рівень залишкових напружень поверхневого шару) [5, 8, 10 - 13].

На жаль, розгалужених досліджень технологічних процесів тонкого абразивного оброблення важкооброблюваних композитних сплавів, легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом, що базуються на нових досягненнях науки з теорії різання матеріалів та сучасних поглядах на вплив структурної побудови шліфувального круга, однорідності зернового складу, кількості основної зернової фракції і, найголовніше, типу ріжучого абразивного зерна і його особливостей застосування, на сьогоднішній день не існує. Це створює умови для розробки і впровадження у виробництво при виготовленні технологічних комплексів різних за технічним рівнем (і не

завжди оптимальних) технологічних процесів, які, як правило, базуються на досвіді технологів-практиків різних виробничих підприємств і які, найчастіше, створені для забезпечення конкретних потреб діючого виробництва без гарантій досягнення найкращих показників якості виготовлення деталей і відповідних умов їх надійності та зносостійкості.

Таблиця – Основні фізико-механічні та антифрикційні властивості композиційних сплавів, синтезованих зі шламових відходів інструментальних сталей легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом

Матеріал	Межа міцності при згині, МПа	Твердість, НВ, МПа (20 °С)	Ударна вязкість, кДж/м ²	Коефіцієнт тертя	Інтенсивність зношування зразка, мкм/км	Інтенсивність зношування контртіла, мкм/км
Композит на основі інструментальної сталі 85Х6НФТ	570-600	860-920	750-760	0,0055-0,0085	0,5-0,8	Сліди
Композит на основі інструментальної сталі 11Р3АМ3Ф	590-620	850-910	770-790	0,0050-0,0080	0,45-0,70	
Композит на основі інструментальної сталі Р6М5К5	530-540	760-870	710-720	0,0014-0,0020	0,25-0,27	
Композит на основі інструментальної сталі Р6М5Ф3	520-530	770-880	670-680	0,0016-0,0023	0,29-0,32	
Композит на основі інструментальної сталі 4ХМФТС	600-630	855-915	780-790	0,0055-0,0082	0,45-0,75	
Композит на основі інструментальної сталі 4Х2В5МФ	570-610	770-810	750-800	0,0015-0,0017	0,27-0,30	

Отже, виконання досліджень з підвищення якості поверхонь, що оброблені методом оздоблювального шліфування, шляхом удосконалення абразивних кругів при надтонкій обробці нових типів високозносостійких композиційних сплавів, легованих титаном, вольфрамом, ванадієм та молібденом, є важливою задачею, яка має незаперечне наукове і, що не менш важливо, практичне значення. Це ілюструє актуальність обраної теми досліджень.

Метою даної статті є забезпечення умов підвищення якості шліфування поверхонь зносостійких деталей тертя з легованих титаном та вольфрамом нових марок важкооброблюваних композитних сплавів шляхом удосконалення абразивних кругів.

Основний зміст та результати виконаних досліджень

Одним із шляхів суттєвого покращення оброблюваності та підвищення якості шліфування поверхонь деталей тертя зі сплавів, легованих титаном та вольфрамом є удосконалення характеристик шліфувальних кругів. З метою встановлення їх раціональних характеристик були виконані дослідження впливу матеріалу абразива, відсоткового складу основної зернової фракції в шліфувальному інструменті та типу зв'язки на ріжучу здатність шліфувальних кругів і якість поверхні деталей тертя, які виготовлені з сучасних марок зносостійких композитів і які містять у складі відповідну кількість титану, вольфраму, ванадію та молібдену.

В результаті аналізу сил шліфування [6, 11, 14] встановлено, що рівень енергетичних витрат при шліфуванні гострими кругами титано-вольфрамових композитів [1, 4, 5] та вуглецевої інструментальної сталі У8 приблизно однакові (рис. 1).

Закономірності змін питомої роботи шліфування в залежності від глибини різання принципово аналогічні раніше отриманим авторами даним [4 – 6, 10, 14] і які свідчать про те, що підвищення $A_{уд}$ зі зменшенням глибини різання пояснюється зростанням витрат на тертя .

Погана оброблюваність шліфуванням деталей, виготовлених з композитних сплавів з вмістом у якості легуючих елементів титану, вольфраму, ванадію та молібдену, обумовлюється швидкою втратою ріжучої здатності шліфувального круга внаслідок активного налипання титана, вольфрама, ванадію та молібдену, обумовлюється швидкою втратою ріжучої здатності шліфувального круга внаслідок активного налипання титана та вольфрама на ріжучі кромки абразивних зерен, що, в свою чергу, різко змінює формування та взаємодію силового та температурного полів шліфування у зоні зрізання стружки з відповідним зниженням параметрів якості поверхонь оброблення [6, 14, 15]. Важасться, що явища налипання та зношування абразивних інструментів є наслідком дії особливих якостей титану чи вольфраму, їх хімічною активністю, низькою теплопровідністю,

високою твердістю сполук (карбідів, нітридів, силіцидів та ін.), що утворюються при взаємодії легованих елементів з матрицею [1 - 4].

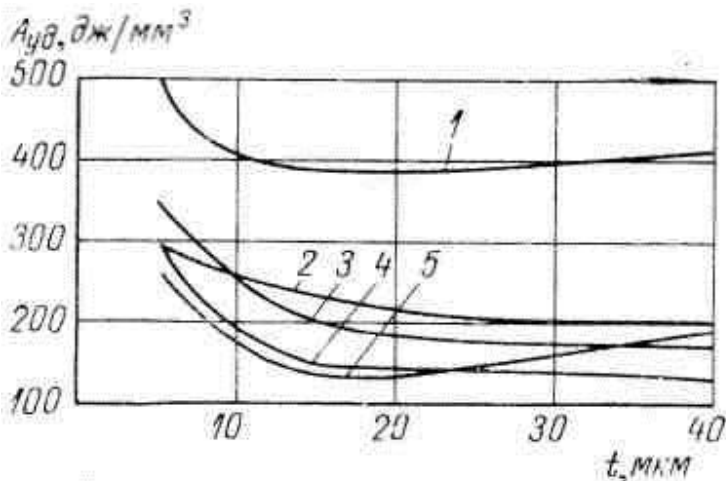


Рисунок 1 – Питома робота $A_{уд}$ при обробці гострими шліфувальними кругами композитних сплавів в залежності від глибини шліфування t :

- 1 – композитний сплав 85Х6НФТ (абразив 63СМ14СМ2Гл);
- 2 – композит на основі швидкорізальної сталі 4ХМФТС (абразив 63СМ14СМ2Гл);
- 3 – композит на основі інструментальної сталі 1ПЗАМЗФ (абразив 63СМ28СМ2Гл);
- 4 – композитний сплав на основі швидкорізальної сталі 4Х2В5МФ (абразивний круг 63СМ14СМ2Гл);
- 5 – вуглецева інструментальна сталь У8 (шліфувальний круг - 63СМ20С1К9)

При металографічному та електронномікроскопічному дослідженні на шліфованих поверхнях композитних деталей тертя технологічних комплексів виявлені білі плями, в яких (на відміну від початкової структури – рис. 2) до глибини 5 – 10 мкм α – і β – фази не визначаються. Мікротвердість матеріалу у білих шарах у 2 – 2,5 рази вище початкової (вихідні значення). Композит у зоні білих плям має більш низькі пластичні властивості, ніж вихідні (початкові) значення. Саме тому шліфувальні тріщини (в окремих випадках) утворюються, у першу чергу, у цих зонах.

Однією з визначальних особливостей рельєфа є високий ступінь диспергування фторидних включень – твердої складової мастильної речовини композиту ($\leq 0,5$ мкм). Це дозволяє припустити утворення дрібнодисперсної структури активного шару та максимальної локалізації у ньому поверхневої деформації при терті в умовах реальної експлуатації машини.

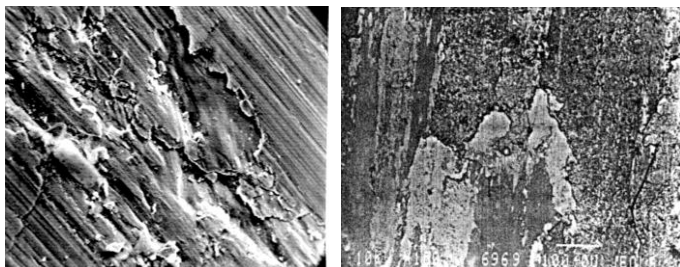


Рисунок 2 – Фрагменти поверхні тертя прошліфованої деталі тертя з композиційного сплаву 85Х6НФТ з вмістом у складі титану (Ti) вольфраму (W):
а) топографічний рельєф півки вторинних структур, $\times 400$;
б) у зоні білого шару, $\times 1000$

Доцільно зазначити, що в результаті налипання титану та вольфраму на ріжучі кромки абразивних кругів під час реалізації технологічного процесу тонкого шліфування, ці утворення металевих контактів ведуть до того, що мікрорельєф шліфованої поверхні композитів, легованих титаном, суттєво відрізняється від шліфованої поверхні, наприклад, вуглецевої інструментальної сталі У8, яка є менш активною у адгезійному та хімічному відношенні. Ця різниця полягає також і в тому, що мікрорельєф шліфованої поверхні деталей з композитів, легованих титаном, характеризується нерівностями, зменшенням регулярних подряпин, майже повною відсутністю на дні лунки подряпини (при візуальному огляді з великим оптичним збільшенням) слідів мікрорізання мікровиступами поверхонь ріжучих абразивних зерен.

В роботах [1 - 5] показано, що з появою у складі зносостійких композитів (крім титану) легуючих елементів з молібдену, вольфраму та ванадію веде до утворення складних сполук, які викликають зниження оброблюваності шліфуванням.

За допомогою методу електронної дифракції вдалося виявити дві майже близькі за періодами ґратки карбідів типу $Fe_{21}W_2C_6$ з розміром ґратки $a = 1,064$ нм, $Fe_{21}Mo_2C_6$ з $a = 1,100$ нм з кубічною упорядкованою ґраткою, а також карбід хрому $Cr_{21}W_2C_6$ з кубічною ґраткою, у якого $a = 1,08$ нм.

Карбід $Me_{23}C_6$, що містить ванадій V, починає розчинятись при досягненні миттєвих контактних температур у зоні шліфування на межі $1050 - 1100$ °С [6, 14]. При цьому розчинення карбіду супроводжується переведенням в аустеніт V, Mo та W. Наприклад, для композиційного сплаву на основі інструментальної сталі Р6М5К5 (табл. 1) одна частина карбіду, що міститься у складі сталі, нагріваючись до 1100 °С, розчиняється цілком, а друга частина зі збереженням дрібного зерна залишається нерозчиненою.

Карбід $Me_{23}C_6$ утворюється при температурі 400 – 500 °С, зазвичай, насиченням хромом цементитного карбиду, що виділяється, і його перетворенням у $Me_{23}C_6$. Можливо і пряме виділення з легованого α – твердого розчину деякої кількості карбиду $Me_{23}C_6$ у композиті на основі сталі Р6М5К5, що містить W, Мо і V, складний карбід $Me_{23}C_6$ зберігає високу дисперсність через схильність до коагуляції (на відміну від цементиту).

Складний карбід хрому (Cr, Fe, Мо, W, V) $_7C_3$ типу Me_7C_3 може бути як вторинного походження, що виділився з аустеніту, так і евтектичного, що утворився під час твердіння. Кількість вуглецю в карбіді Me_7C_3 змінюється у певних межах, внаслідок чого він може утворюватись з дефіцитом або з надлишком вуглецю.

У карбіді Me_7C_3 розчиняються Мо, W, V, що підвищує його стійкість до розчинення в аустеніті (особливо в умовах непрогнозованого зростання миттєвих контактних температур у зоні зрізання стружок абразивними зернами). При підвищенні температур різання аустеніт (за рахунок розчинення такого карбиду) насичується ванадієм V, оскільки, як відомо, вміст ванадію в карбіді Me_7C_3 інтенсивно зростає зі збільшенням кількості хрому у швидкорізальних сталях. Отже, розчинність Мо та W у карбіді Me_7C_3 зменшується.

На рис. 3 показана одноступінчаста репліка карбиду Me_7C_3 , з якої видно, що карбід – складна сполука, до якої входять (Cr₂, Fe₂, Мо, W, V) C_3 .

Евтектичні ділянки (рис. 3) складаються зі складних карбідів типу Me_7C_3 , диспергованих у твердому розчині матриці. Дуже великі ділянки (білі) карбідів (Cr₂, Fe₂, Мо, W, V) C_3 (періоди ґратки $a = 1,398$ нм) утворились в аустенітній матриці за температури 1150 °С. На рис. 3 видно дрібні карбіди складу Me_7C_3 .



Рисунок 3 – Карбіди типу Me_7C_3 , $\times 10000$, відтінення Ge, 30

Враховуючи особливі властивості композиційних сплавів, які леговані титаном, вольфрамом, молібденом, ванадієм, а також особливості карбідно-фазового складу поверхневих шарів та їх формування під дією миттєвих контактних температур у зоні зрізання стружки абразивним зерном, були виконані дослідження процесу шліфування нових марок високозносостійких композитів з застосуванням кругів з абразивних матеріалів, що мають суттєво різні якості. Зокрема, проведені випробування абразивних зерен з бориду вольфрама (W_2B_3), бориду титана (TiB_2), карбиду цирконію (ZrC). Шліфувальні круги були виготовлені на еластичній бакелітовій зв'язці. Випробування виконані у порівнянні з кругами із серійного зерна карбиду кремнію зеленого (63С) на прецизійному плоско-шліфувальному верстаті FF – 350 «Аbawerk» (Німеччина). Застосовувались такі режими шліфування: швидкість кругу – 27 – 30 м/с, поздовжня швидкість деталі (поздовжня подача) – 25 – 30 м/хв, глибина різання – 2 – 5 мкм. Критеріями для оцінки ріжучих властивостей шліфувальних інструментів були складові для різання, продуктивність зрізання композиту абразивним кругом за одиницю часу, зношування круга, питома робота шліфування, питома продуктивність, шорсткість поверхні оброблення, залишкові напруження, ступінь наклепу та структура поверхневих шарів.

В результаті виконання розгалужених досліджень було встановлено, що основні показники процесу (для досліджуваних абразивних матеріалів) при шліфуванні гострими кругами (після їх правки) є практично однаковими. Різниця у ріжучих властивостях кругів із цих матеріалів починає проявляти себе лише на стадії їх затуплення. Так, наприклад, відзначається більш інтенсивне зростання (на 20 – 30 %) питомої роботи шліфування зі збільшенням затуплення кругів із зерен металоподобних сполук у порівнянні з кругами з карбіда кремнію (63С). За питомою продуктивністю шліфувальні круги з карбіду кремнію зеленого виявились також дещо кращими, ніж круги з металоподобних сполук. Таким чином, для існуючого стану вивченості різних абразивних матеріалів основним абразивом для якісного шліфування композиційних важкооброблюваних сплавів, що леговані такими елементами як титан (Ti), вольфрам (W), молібден (Mo) та ванадій (V), може бути рекомендовано лише карбід кремнію зелений (63С), що співпадає з рекомендаціями, отриманими авторами раніше і опублікованими в роботах [1 – 6, 14, 15].

Для підвищення експлуатаційних характеристик шліфувальних кругів з карбіду кремнію зеленого (63С) були досліджені круги із зерен, що пройшли додаткову класифікацію на вібродинамічному класифікаторі WDKR – 1616 фірми General Electric (США). Цей спосіб класифікації підвищує відсотковий вміст основної фракції зерна з 45 – 50 % у серійних шліфувальних кругах до 75 – 85 % у нестандартних інструментах, дослідну партію яких було

спеціально виготовлено для виконання досліджень технологічного процесу тонкого абразивного шліфування нових марок високолегованих і важкооброблюваних композитів.

Одночасно була зроблена спроба зменшити кількість зв'язки в кругах з карбиду кремнію зеленого без зміни їх твердості шляхом введення пластифікуючих активних добавок [11], які сприяють більш міцному закріпленню абразивних зерен у шліфувальному інструменті. Вважалося, що зменшення кількості зв'язки у кругах дозволить зменшити складові сил шліфування і сприятиме покращенню якості оброблення поверхонь деталей у високолегованих композитів.

Експериментальна перевірка підтвердила ці прогнозування. Дослідження показали, що за рахунок зменшення кількості зв'язки на 30% у шліфувальних кругах твердості С2 питома робота шліфування (на різних стадіях затуплення інструментів) у середньому на 25% нижча у порівнянні зі стандартними кругами.

В результаті випробувань кругів при шліфуванні сплава 11РЗАМЗФ було встановлено, що підвищення основної фракції зерен в інструменті на 30% пропорційно знижує питому роботу шліфування та зменшує рівень максимальних залишкових напружень поверхневого шару деталі оброблення. При цьому час шліфування до виникнення дефектів структури на поверхні оброблення (стійкість кругів) збільшується у 3 – 4 рази у порівнянні з серійними кругами, що виробляються підприємствами абразивної промисловості. Ці позитивні результати можливо пояснити покращенням стабільності умов мікрорізання і покращенням самозаточування кругів, що обумовлює зменшення налипання часток композитного матеріалу, легованого титаном, вольфрамом, молібденом і ванадієм на вершину ріжучого абразивного зерна та, відповідно, зниження складових сил шліфування і рівня залишкових напружень. Позитивний вплив підвищення однорідності зерен також підтверджують дані, отримані в роботах [10 – 13, 16].

Результати виконаних досліджень апробовані у виробничих умовах при виготовленні деталей з новітніх марок композитів на операціях плоского, круглого внутрішнього та зовнішнього шліфування.

Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень необхідно зробити наступні висновки:

1. Вперше досліджено технологічні процеси абразивного шліфування нових високозносостійких композиційних сплавів, що синтезовані зі шламових відходів інструментальних сталей типу 85Х6НФТ, 11РЗАМЗФ, 4ХМФТС, Р6М5Ф3, 4Х2В5МФ і які містять у складі основних легуючих елементів титан та вольфрам під кутом зору забезпечення високих параметрів якості і продуктивності обробки шляхом поліпшення структури шліфувальних абразивних кругів та їх складу.

2. Показано, можливо суттєво покращити результати оброблення підвищенням однорідності зернового складу абразиву, оптимізації кількісного складу зв'язки та кількості абразивних зерен у шліфувальних кругах.

3. Доведено, що найкращі параметри якості поверхонь оброблення, показники продуктивності зрізання абразивом шару матеріалу зносостійких титано-вольфрамових композитів та розмірної стійкості абразивних інструментів можуть бути отримані при застосуванні для процесів тонкого шліфування робочих поверхонь тертя деталей кругів на базі карбіду кремнію зеленого (63С) на еластичних зв'язках.

4. Подальші дослідження будуть спрямовані на виконання експериментів і встановлення відповідних закономірностей при формуванні тонким шліфуванням параметрів якості поверхонь деталей тертя машин, які виготовлені з новітніх марок композитів на основі кольорових металів (мідь, нікель, алюміній).

Список використаних джерел: 1. *Роїк Т.А.* Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації [Текст]: Монографія / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш - К.: НТУУ „КПІ”, 2007.- 404 с. 2. *Гавриш А.П.* Влияние технологии получения на свойства порошковых материалов для тяжелых режимов трения [Текст] / А. П. Гавриш, Т. А. Роик / Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПІ», 2002. – Вып. 43. – С. 67 – 71. 3. Аналіз триботехнічних властивостей матеріалів і стан тертьових поверхонь [Текст] / [Роїк Т.А., Гавриш А.П., Віщок Ю.Ю. та ін.]. - Междунар. сб. науч. трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк: ДонНТУ, 2009. – Вып.37. – С.199-206. 4. *Роїк Т.А.* Сучасні системи технологій заготівельного виробництва в машинобудуванні [Текст]: Монографія / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш. - К.: ЕКМО, 2010.- 212 с. 5. Новітні технології виробництва стандартизованих виробів: Монографія / [О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віщок, Т. А. Роїк та ін.]. - К.: НТУУ „КПІ”.-2012.-204 с. 6. Технологія поліграфічного машинобудування [Текст]: навчальний посібник / [П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. В. Шевчук та ін.]. - К.: НТУУ „КПІ” ВПІ ВПК «Політехніка», 2014.- 504 с. 7. *Маталин А.А.* Технологические методы повышения долговечности деталей машин [Текст] / А.А. Маталин. – К.: Техника, 1971. – 144 с. 8. *Маталин А.А.* Качество поверхности и эксплуатационные свойства машин [Текст] / А. А. Маталин. – Л.: Машгиз, 1976. – 384 с. 9. Надежность и долговечность машин [Текст] / [Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский и др.]. – К.: ИПП НАН Украины, 2013. – 456 с. 10. *Лавриненко В.І.* Надтверді абразивні матеріали в механообробці [Текст]: енциклопедичний довідник [Текст] / [під заг. ред. акад. НАН України М. В. Новикова]. – К.: ИПП НАН України, 2013. – 456 с. 11. *Богуслаев В.О.* Основи технології машинобудування [Текст]: навчальний посібник / В. О. Богуслаев, І. В. Ципак, В.К. Яценко. – Запоріжжя: вид-во ВАТ «Моторсід», 2003. – 335 с. 12. Сверхтвердые материалы. Получение и применение [Текст]: монография в 6 т. / [под общ. ред. акад. Н. В. Новикова]. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Т. 6.: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки / [под ред. А.А. Шепелева]. – 340 с. 13. Инструменты из сверхтвердых материалов [Текст] / [под общ. ред. акад. Н.В. Новикова, д.т.н. С.А. Клименко]. – 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с. 14. Фінішне оброблення зносостійких деталей друкарських машин [Текст]: навчальний посібник / [П.О. Киричок, Т.А. Роїк, А.П. Гавриш та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 514 с. 15. Оптимізація вибору абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей з легованих титаном композитів для технологічних комплексів [Текст] / [А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, О.І. Лотоцька та ін.] // Технологічні комплекси. – № 2 (10) – Луцьк:

ЛНТУ, 2014. – С. 121 – 131. **16.** Косторнов А.Г. Триботехническое материаловедение [Текст]: монография / А.Г. Косторнов. – Луганск: изд-во «Ноули», 2012. – 701 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Royik T.A. Kompozytsiyni pidshypnykovi materialy dlya pidvyshchenykh umov ekspluatatsiyi [Текст]: Монографія / Т.А. Royik, P.O. Kyrychok, A.P. Havrysh - K.: NTUU „KPI”, 2007.- 404 s. **2.** Gavrish A.P. Vlihanie tehnologii poluchenija na svojstva poroshkovykh materialov dlja tjazhelyh rezhimov trenija [Текст] / A.P. Gavrish, T.A. Roik / Vestnik NTUU «KPI». Mashinostroenie. – K.: NTUU «KPI», 2002. – Vyp. 43. – S. 67 – 71. **3.** Analiz tribotehnichnih vlastivostej materialiv i stan tert'ovyh poverhon' [Текст] / [Roik T.A., Gavrish A.P., Vicjuk Ju.Ju. ta in.]. - Mezhdunar. sb.nauch.trudov «Progressivnyje tehnologii i sistemy mashinostroenija». – Doneck: DonNTU, 2009. – Vyp.37. – S.199-206. **4.** Royik T.A. Suchasni systemy tekhnolohiy zahotivel'noho vyrobnytstva v mashynobuduvanni [Текст]: Монографія / Т.А. Royik, A.P. Havrysh, O.A. Havrysh. - K.: EKMO, 2010.- 212 s. **5.** Novitni tekhnolohiyi vyrobnytstva standartyzovanykh vyrobiv: Монографія / [O.A. Havrysh, Yu.Yu. Vitsyuk, T.A. Royik ta in.]. - K.: NTUU „KPI”.-2012.-204 s. **6.** Tekhnolohiya polihrafichnoho mashynobuduvannya [Текст]: navchal'nyy posibnyk / [P.O. Kyrychok, T.A. Royik, A.V. Shevchuk ta in.]. - K.: NTUU „KPI” VPI VPK «Politehnika», 2014.- 504 s. **7.** Matalin A.A. Tehnologicheskie metody povyshenija dolgovechnosti detalej mashin [Текст] / A.A. Matalin. – K.: Tehnika, 1971. – 144 s. **8.** Matalin A.A. Kachestvo poverhnosti i jekspluatacionnye svojstva mashin [Текст] / A.A. Matalin. – L.: Mashgiz, 1976. – 384 s. **9.** Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin [Текст] / [B.I. Kosteckij, I.G. Nosovskij, L.I. Bershadskij i dr.]. – K.: IPP NAN Ukrainy, 2013. – 456 s. **10.** Lavrynenko V.I. Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanooobrobtci [Текст]: entsyklopedychnyy dovidnyk [Текст] / [pid zah. red. akad. NAN Ukrainy M.V. Novikova]. – K.: YPP NAN Ukraїny, 2013. – 456 s. **11.** Bohuslaev V.O. Osnovy tekhnolohiyi mashynobuduvannya [Текст]: navchal'nyy posibnyk / V.O. Bohuslaev, I.V. Tsyypak, V.K. Yatsenko. – Zaporizhzhya: vyd-vo VAT «Motorsich», 2003. – 335 s. **12.** Sverhtverdyje materialy. Poluchenie i primenenie [Текст]: monografiya v 6 t. / [pod obshh. red. akad. N.V. Novikova]. – K.: ISM im. V. N. Bakulja NAN Ukrainy, 2007. – T. 6.: Almazno-abrazivnyj instrument v tehnologijah obrabotki / [pod red. A.A. Shepeleva]. – 340 s. **13.** Instrumenty iz sverhtverdyh materialov [Текст] / [pod obshh. red. akad. N.V. Novikova, d.t.n. S.A. Klimenko]. – 2-e pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 2014. – 608 s. **14.** Finishne obrobleniya znosostiyykhyh detaley drukars'kykh mashyn [Текст]: navchal'nyy posibnyk / [P.O. Kyrychok, T.A. Royik, A.P. Havrysh ta in.]. – K.: NTUU «KPI», 2014. – 514 s. **15.** Optyimizatsiya vyboru abrazyvnykh materialiv dlya shlifuvannya znosostiyykhyh detaley z lehovanykh tytanom kompozytiv dlya tekhnolohichnykh kompleksiv [Текст] / [A.P. Havrysh, T.A. Royik, O.I. Lotots'ka ta in.] // Tekhnolohichni komplekxy. – № 2 (10) – Luts'k: LNTU, 2014. – S. 121 – 131. **16.** Kostornov A.G. Tribotehnicheskoe materialovedenie [Текст]: монографія / А.Г. Kostornov. – Луганск: изд-во «Ноули», 2012. – 701 с.

Надійшла до редколегії 30.10. 2014