

УДК 621.923

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН ПРИ ТОНКОМУ ШЛІФУВАННІ КОМПОЗИЦІЙНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

© Т. А. Роїк, д.т.н., с.н.с., Національний авіаційний університет,
Київ, Україна

Статья посвящена вопросам исследования качества поверхности деталей из композиционных антифрикционных материалов при тонком шлифовании.

The work is devoted to the research quality of the surface of the parts from composite anti-frictional materials by fine machining grinding.

У сучасних конструкціях поліграфічних машин застосовуються деталі пар тертя, які здебільшого виготовляють зі спеціальних антифрикційних матеріалів.

Від показників їх зносостійкості, значень коефіцієнтів тертя у значній мірі залежать показники надійності машин, зокрема, довговічність, працездатність, ремонтоздатність та частота відказів.

Для підвищених умов експлуатації (температури 100 °С, питомі тиски понад 1—3 МПа) відомі антифрикційні матеріали непридатні.

Тому науковцями-металургами були створені нові марки композиційних антифрикційних матеріалів [1—6], властивості яких відповідають високим умовам створення і експлуатації нового покоління машин і приладів. Це порошкові сплави типу $EP975 + 4CaF_2$, $EP-975 + 6CaF_2$, $EP975 + 8CaF_2$, $Ni + (18-45)Fe + (5-10)(MoB_2 + ZrB_2) + 5(CaF_2 \text{ чи } BaB_2)$.

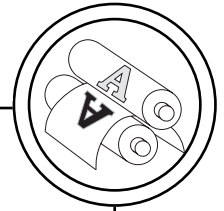
Відомо, що робочі параметри якості деталей пар тертя у значному ступені залежать від якості їх поверхонь після механічної обробки, зокрема, методами тонкого шліфування.

Незважаючи на те, що у наукових виданнях є достатньо відомостей про процеси шліфування високолегованих важкооброблюємих сплавів [7—9], публікацій по особливостям застосування мастильно-охолоджуючих речовин при шліфуванні композиційних антифрикційних матеріалів практично нема. Це приводить на практиці до появи у виробництві найрізноманітніших технологічних процесів, які у більшості своїй є далеко не оптимальними і найчастіше призначені для виконання певних технічних задач.

Тому всебічне дослідження особливостей застосування мастильно-охолоджуючих рідин для забезпечення якості поверхонь деталей з композиційних антифрикційних матеріалів методами тонкого шліфування є актуальним питанням, позитивне вирішення якого має як наукове, так і незаперечне практичне значення.

Саме це і є метою дослідження, результати якого стали змістом даної статті.

Дослідження цього питання виконувалося у рамках науково-дослідної роботи «Розробка технології високопродуктивної алмазно-



абразивної обробки спеціальних високолегованих матеріалів» (Державні науково-технічні програми 05.43.04.04 ДКНТ та Міністерства науки України 1995—1999 рр.).

Як відомо, якість поверхні деталей після шліфування залежить від теплових і силових факторів, які діють у зоні обробки. Інтенсивність цих факторів можна суттєво зменшити, а отже, і стабілізувати якісні параметри матеріалів, що шліфуються, за допомогою раціонального використання мастильно-охолодних рідин (МОР).

Для виявлення резервів підвищення продуктивності та якості обробки шліфуванням поверхонь проведено дослідження ефективності нових МОР (табл. 1).

Експериментальні дослідження процесу круглого зовнішнього тонкого шліфування із поздовжньою подачею зразків, які імітують робочу поверхню тертя, проводили на модернізованому верстаті ЗВ642. Верстат оснащений гідроприводом поздовжньої подачі стола, механізованим приводом кочення оправки зі зразками, системою подачі та очищення МОР.

Як показали попередні випробування (ряди ранжування у табл. 2),

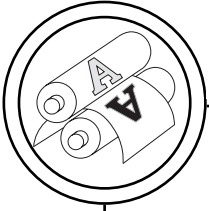
кращі результати по основному критерію (R_a) нові вітчизняні МОР № 5 і 3, які і були відібрані для проведення подальших досліджень.

Шліфували зразки однакових розмірів зі сплавів $EP975+4CaF_2$, $EP-975+6 CaF_2$, $EP975+8CaF_2$, $Ni+(18\div 45)Fe+(5\div 10)(M_oB_2+ZrB_2)+5(CaF_2 \text{ чи } BaB_2)$, МНАМЦ-46-3-2-1, двох сплавів на основі міді з домішками Ni, Al, Gr, Mn (сплави № 538, HB 290-310 та № 546, HB 176-196), а також комбіновані (складені) зразки зі сплаву № 546 з прокладками і зі сплаву МНАМЦ-46-3-2-1 з прокладками із пермалою $EP975+6CaF_2$. Шліфування виконували кругами 63СМ14СМ2Гл і АСМ14Бр1 100 % зі швидкістю $V_k = 30—35$ м/с при частоті качання оправки зі зразками $n_o = 60$ кач/хв і поздовжній подачі стола $S_{позд} = 2$ м/хв. Поперечну подачу круга $S_{поп}$ змінювали від 0,0025 до 0,01 мм/подв.хід. В зону обробки МОР подавали поливом з витратами 2 л/хв. Основними критеріями, за якими робили висновки про ефективність МОР, є: шорсткість шліфованої поверхні (середнє відхилення профілю R_a , мкм); мікротвердість поверхневого шару H_q , що вимірюється на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,5 Н; ступінь на-

Таблиця 1

МОР, що використовуються при проведенні експериментальних досліджень процесу шліфування антифрикційних матеріалів

Умовний номер МОР	Клас МОР	Вихідний продукт	Концентрація вихідного продукту
1	Емульсія	ЕТ-2	16,7
2	Емульсія	НГЛ-205	16,7
3	Емульсія	«Укринол-1»	5,0
4	Синтетична	«Аквол-10»	2,0
5	Синтетична	«Аквол-10»	5,0
6	Синтетична	«Аквол-10»	7,0
7	Синтетична	«Cindolibe 173Ер»	1,7
8	Синтетична	«Укринол-12»	5,0
9	Вуглеводна (масло)	«Укринол-14»	100,0



Таблиця 2

Ряди ранжування МОР

Матеріал зразка	Кри-терій	Умовний номер МОР по табл. 5						Ряд ранжування МОР	
		1	2	3	5	7	9	Ка	ДКу
ЕП975+6CaF ₂	R _a , мкм	0,220	0,350	0,240	0,180	0,230	0,190	5, 9, 1, 7, 3, 2	9, 7, 3, 2, 1, 5
	R _a , мкм	0,034	0,026	0,023	0,041	0,019			
Сплав № 538	R _a , мкм	0,210	0,270	0,210	0,180	0,220	0,280	5, 3, 1, 7, 2, 9	9, 7, 5, 3, 2, 1
	R _a , мкм	0,049	0,032	0,032	0,030	0,011	0,032		
Сплав № 546	R _a , мкм	0,170	0,270	0,220	0,180	0,260	0,260	1, 5, 3, 9, 7, 2	9, 7, 5, 1, 3, 2
	R _y , мкм	0,027	0,032	0,031	0,019	0,012			
МНАМЦ-С-46-3-2-1	R _a , мкм	0,250	0,250	0,220	0,150	0,240	—	5, 3, 7, 1, 2	7, 5, 3, 2, 1
	R _y , мкм	0,047	0,039	0,031	0,027	0,019			
	мм/хв								
ЕП975+6CaF ₂	R _a , мкм	0,190	0,230	0,200	0,210	0,200	—	1, 3, 7, 5, 2	9, 7, 3, 5, 2, 1
	R _y , мкм	0,042	0,038	0,019	0,031	0,023			
	мм/хв								

Результуючі ряди ранжування МОР:

5, 3, 1, 9, 7, 3,
9, 7, 2 5, 2, 1

клепу поверхневого шару $K_n = H_q/H_o$, де $H_o = 1790$ МПа — мікротвердість зразка у початковому стані. Додатково оцінку ефективності МОР виконували за оптичним розмірним зношуванням круга ΔR_y , радіаль-

ною P_y та тангенціальною P_z складовими сили різання, контактною температурою у зоні шліфування Q , коефіцієнтом $K = P_y/P_z$. Складові сили різання P_z та P_y вимірювали за допомогою динамометричних центрів і записували на шлейфовому осцилографі. Одночасно на стрічку осцилографа записували теплові імпульси, що виникли у зоні обробки.

Подальшу оптимізацію складу вибраних МОР проводили з вимірюваннями складових сил різання, контактної температури і ступеня наклепу поверхневого шару шліфованої поверхні зразка зі сплаву ЕП975 + 6CaF₂. Практичний інтерес має дослідження впливу концентрації початкового продукту у рідині на ефективність процесу шліфування сплаву ЕП975 + 6CaF₂ (рис. 1). Зміни концентрації вихідного продукту «Аквол-10» у воді від 2 до 7 %

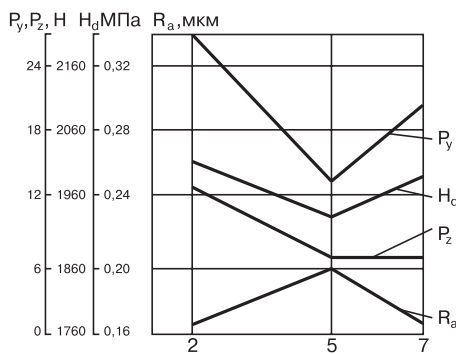


Рис. 1. Вплив концентрації вихідного продукту «Аквол-10» на показники процесу шліфування зразків зі сплаву ЕП975+6CaF₂ кругом 63СМ14СМ2Гл: $V_{кр} = 30$ м/с; $S_{ноп} = 0,005$ мм/подв.хід; $p_o = 60$ кач/хв; $S_{позд} = 2$ м/хв

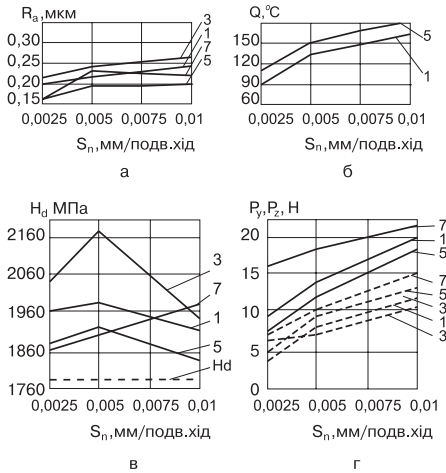
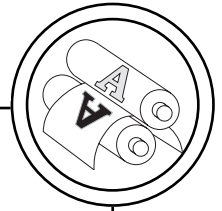


Рис. 2. Вплив $S_{n\text{ пог}}$ кругів 63СМ14СМ2Гл на показники шліфування зразків зі сплаву ЕП975+8СаF₂ з використанням різних МОР: а — на шорсткість поверхні; б — на контактну температуру; в — на мікротвердість поверхнього шару; г — на сили різання (- - - P_y ; - - - P_z); 1, 3, 5, 7 — номер МОР по табл. 4.27; $p_0 = 60$ кач/хв; $S_{\text{позд}} = 2$ м/хв

несуттєво впливають на шорсткість оброблюваної поверхні зразків. Але мінімальні рівні наклепу поверхнього шару і сили різання P_z та P_y відмічені при 5 %-й концентрації. Тому можна рекомендувати цю концентрацію як найбільш раціональну. Аналогічна картина спостерігається і для МОР на основі емульсолу «Укринол-1» [141].

Був вивчений вплив режимів шліфування та характеристик кругів на шорсткість, мікротвердість поверхнього шару і теплосилову напруженість процесу на прикладі сплаву ЕП975 + 6СаF₂ (рис. 2 та 3). Дослідження показали, що при роботі кругом на еластичній зв'язці (рис. 2) з використанням майже всіх МОР при збільшенні подачі круга S_n відмічене збільшення шорсткості шліфованої поверхні

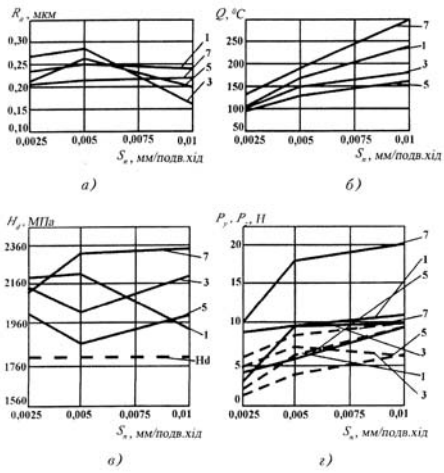
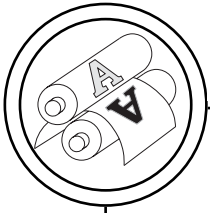


Рис. 3. Вплив поперечної подачі $S_{n\text{ пог}}$ круга 63СМ14СМ2Гл на показники шліфування зразків зі сплаву ЕП975+8СаF₂ з використанням різних МОР: а — на шорсткість поверхні; б — на контактну температуру; в — на мікротвердість поверхнього шару; г — на сили різання (- - - P_y ; - - - P_z); 1, 3, 5, 7 — номер МОР по табл. 5; $p_0 = 60$ кач/хв; $S_{\text{позд}} = 2$ м/хв

зразків, при цьому кращі результати забезпечує МОР № 5.

Контактну температуру при шліфуванні кругом 63СМ14СМ2Гл із застосуванням МОР записати за допомогою напівштучної термопари технічно складно внаслідок поганого утворюваного контакту «константан — оброблюваний сплав», що пов'язано з особливостями гліфталевої зв'язки. Запис вдалося отримати лише при шліфуванні із застосуванням МОР № 1 та № 5 сплаву ЕП975+8СаF₂ і пари ЕП975+ +8СаF₂. При шліфуванні сплаву ЕП975+ + 8СаF₂ з використанням МОР № 5 контактна температура дещо вища, ніж при шліфуванні з МОР № 1 (рис. 2).

Але необхідно відмітити, що у режимах шліфування, що розглядаються, контактна температура незначна і несуттєво впливає на



зниження початкових магнітних властивостей сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$. Швидше навпаки, збільшення контактної температури до певної межі (нижче точки Кюрі) позитивно впливає на збереження початкових магнітних властивостей сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$: зменшення іде інтенсивніше і мікроструктура поверхневого шару суттєво не змінюється під впливом силового фактору. Дане припущення деякою мірою підтверджується експериментами по дослідженню мікротвердості (ступеня наклепу) поверхневого шару зразків зі сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$ (рис. 2, в).

При шліфуванні з подачею $S_n = 0,0025$ мм/подв.хід кращі результати мікротвердості поверхневого шару (рис. 2, в) показали МОР № 7 та № 5. Ступінь наклепу із застосуванням МОР № 7 дорівнює 4 % ($K_n = 1,04$), при шліфуванні з МОР № 5 — 6 % ($K_n = 1,06$), МОР № 1 забезпечує ступінь наклепу 9 % ($K_n = 1,09$).

При шліфуванні з подачею $S_{\text{ноп}} = 0,05$ мм/подв.хід МОР № 7 та № 5 показали практично однакові результати (відповідно $K_n = 1,06$ та $K_n = 1,07$), при використанні МОР № 1 ступінь наклепу підвищився до 10 % ($K_n = 1,1$). При збільшенні подачі круга до 0,01 мм/подв.хід кращі результати по ступеню наклепу дає використання МОР № 5 ($K_n = 1,03$). Застосування в тих же умовах МОР № 7 і № 1 дає ступінь наклепу, рівний відповідно 10 та 7 %. На всіх подачах круга максимальний наклеп поверхневого шару відмічений при шліфуванні з МОР № 3 ($K_n = 1,1—1,2$), хоча по силах різання P_y та P_z (рис. 2, г) ця рідина дає кращі результати. Цікаво відмітити, що при збільшенні подачі круга до 0,01 мм/подв.хід (рис. 2, в) мікротвердість поверхневого шару зразків при шліфуванні з МОР № 7 — збільшується.

Таким чином, при шліфуванні зразків зі сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$ абразивним кругом на еластичній зв'язці за шорсткістю, ступенем наклепу поверхневого шару і температурно-силовим критерієм необхідно визнати кращою рідиною МОР № 5 на основі «Аквол-10». Її використання базової МОР № 1 та закордонного аналогу МОР № 7 дозволяє збільшити подачу круга з 0,0025 до 0,005—0,01 мм/подв.хід без погіршення якості поверхневого шару зразків із $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$.

При шліфуванні в тих же умовах зразків зі сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$ високопористими кругами кращі результати за ступенем наклепу і температурно-силовим критерієм також отримані при застосуванні МОР № 5.

Встановлено (рис. 3, а), що збільшення подачі круга від 0,0025 до 0,01 мм/подв.хід веде до вирівнювання ефективності різних МОР за шорсткістю оброблюваної поверхні зразків. Майже при всіх подачах максимальний наклеп поверхневого шару відмічений у випадку використання закордонної МОР № 7 ($K_n = 1,04—1,12$). Закордонний аналог МОР № 7 при шліфуванні сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$ поступається за ефективністю новим вітчизняним рідинам.

Порівняння ефективності роботи кругів (рис. 4) при шліфуванні зразків зі сплаву $\text{EP975} + 8\text{CaF}_2$ із застосуванням МОР № 1 (рис. 4, а), а МОР № 5 (рис. 4, б), та закордонної МОР № 7 (рис. 4, в), показує, що кращі результати по шорсткості поверхні, ступеню наклепу показує круг 63СМ14СМ2Гл з використанням МОР № 5. Ступінь наклепу при роботі кругом на гліфталевій зв'язці (рис. 4, б) дорівнює 3—7 %, а при шліфуванні високопористим кругом в тих же умовах вона дося-

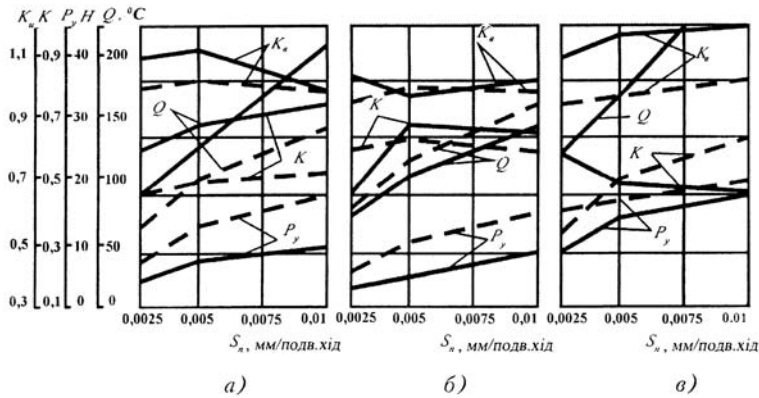
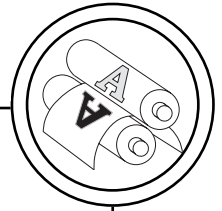


Рис. 4. Порівнювана ефективність складів МОР та абразивних кругів при шліфуванні зразків зі сплавом $EP975+8CaF_2$: а — МОР № 1; б — МОР № 5; в — МОР № 74; - - - — високопористий круг 63СМ40СМ220К; - - - — круг 63СМ14СМ2Гл; $V_{кр} = 30-35$ м/с; $p_0 = 60$ кач/хв; $S_{позд} = 2$ м/хв

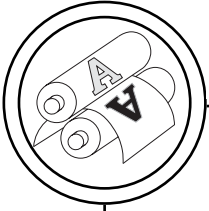
гає 4—12 %, причому в обох випадках зі збільшенням подачі до 0,01 мм/подв.хід ступінь наклепу дещо знижується, оскільки при досить малих глибинах різання (0,0025—0,005 мм/подв.хід) превалюють процеси пластичного деформування та полірування, що протікають без суттєвого нагрівання поверхневого шару. Зі збільшенням подачі круга зростає глибина мікрорізання та частка корисної роботи на видалення металу (коефіцієнт К зростає), а витрати на тертя та руйнування знижуються, що і веде до деякого зниження наклепу поверхневого шару.

За температурно-силовим критерієм в тих же умовах суттєву перевагу має високопористий круг 63СМ40СМ220К. Необхідно відмітити, що при застосуванні МОР № 1 (рис. 4, а) та № 5 (рис. 4, б) високопористий круг має більш високу різальну здатність у порівнянні з кругом 63СМ14СМ2Гл (коефіцієнт К для високопористого круга більший). Обернена картина (рис. 4, в) відмічена при використанні закордонної МОР № 7: круг 63СМ14СМ2Гл працює в режимі самозаточування

(коефіцієнт К зі збільшенням подачі зростає), а при застосуванні високопористого круга — в режимі затуплення (коефіцієнт К зі збільшенням подачі круга зменшується).

Відмічені закономірності та висновки про ефективність МОР і кругів підтверджені при шліфуванні комбінованих зразків зі сплавів $(EP975 + 8CaF_2) +$ сплав 546 і $Ni + (18 \div 45)Fe + (5 \div 10)(M_0B_2 + ZrB_2) + 5(CaF_2 \text{ чи } BaF_2) + MHAM\text{ц}C-46-3-2-1$. Кращі результати за температурно-силовим критерієм та різальною властивістю абразивів отримані при застосуванні МОР № 5, причому при шліфуванні пари $(EP975+8CaF_2) +$ сплав 546 кращі показники забезпечує круг на гліфталевій зв'язці, а при шліфуванні пари $Ni+(18 \div 45)Fe + (5 \div 10)(M_0B_2 + ZrB_2) + 5(CaF_2 \text{ чи } BaF_2) + MHAM\text{ц}C-46-3-2-1$ — високопористий круг.

Виробничі випробування МОР № 5 при плоскому і зовнішньому круглому тонкому шліфуванні магнітних головок підтвердили отримані експериментальні результати. Застосування МОР № 5 несуттєво впливає на зміни параметрів якості оброблених поверхонь.



На основі викладених результатів можна рекомендувати для виробництва синтетичні МОР типу 5 %-го водного розчину вітчизняного продукту «Аквол-10».

Висновки

1. На основі аналізу експериментальних даних по тонкому шліфуванню антифрикційних порошкових матеріалів пар тертя поліграфічних машин з застосуванням охолоджуючо-мастильних рідин встановлено, що необхідні параметри якості поверхонь можливо забезпечити застосуванням синтетичних рідин типу 5 %-го водного розчину вітчизняного продукту «Аквол-10».

2. Для виробничої практики слід рекомендувати такі режими шліфування виробів з антифрикційних порошкових композитів: швидкість шліфувального круга $V_{кр} = 30 \div 35$ м/с, число коливань — $n_o = 60 \div 65$ кач/хв, поздовжня подача — $S_{позд} = 2$ м/хв, глибина шліфування — $t = 0,005 \div 0,010$ мм, шліфувальний круг — 63СМ14СМ2Гл.

3. У подальшому має рацію проведення досліджень по впливу на параметри якості поверхонь деталей з антифрикційних матеріалів тонкого шліфування з застосуванням абразивних інструментів із сучасних синтетичних надтвердих матеріалів — алмазів, кубонітів, ельбору та боразону.

1. Патент України № 59768А, МКИ С22С 33/02. Антифрикційний композиційний матеріал на основі сталі. (Роїк Т. А.) № 20021210134; Заявл. 16.02.02; Опубл. 15.09.03; Бюл. № 9, с. 3. 2. Роїк Т. А. Подшипниковые высокотемпературные материалы на основе металлических порошков-отходов // Техніка майбутнього. — Одеса: Вид-во Одеськ. морськ. ун-ту. — 1999. — № 1. — С. 3—7. 3. Шевчук Ю. Ф., Роїк Т. А. Триботехнические материалы для экстремальных условий работы. — Сб. трудов междунар. конф. «Новейшие технологии в порошковой металлургии и керамике» (под ред. акад. НАНУ В. В. Скорохода. — Киев. — 2003. — С. 177—178. 4. Проволоцкий О. Е., Роїк Т. А. Новые порошковые антифрикционные композиты на основе силумина. — Сб.: «Вісті Академії інженерних наук України» (Машинобудування). — Київ. — 2002. — № 4. — С. 13—18. 5. Роїк Т. А. Инженерия антифрикционных композитов с никелевой матрицей. — Сб.: «Вісник НТУУ «Київськ. політ. ін-т» (Машинобудування). — Київ. — 2000. — вып. 39. — С. 111—115. 6. Роїк Т. А. Спечені композити для високих температур тертя. — Зб.: «Вісник Житомирського інженерно-технічного інституту». — Житомир: Вид-во ЖІТІ. — 1999. — № 11. — С. 77—81. 7. Роїк Т. А. Тонка обробка композиційних антифрикційних матеріалів абразивними і алмазними кругами. — Зб.: «Вісник Житомирського державного технологічного університету». — Житомир: ЖДТУ. — 2004. — № 2 (вип. 29). — С. 38—52. 8. Хрульков В. А. Механическая обработка изделий из магнитных материалов. — М.: Машиностроение. — 1986. — С. 198. 9. Гавриш А. П., Мельничук П. П. Технологія обробки магнітних матеріалів. — Житомир: Вид-во Житомирського державного технологічного університету. — 2004. — С. 560.

Надійшла до редакції 25.05.04