

В.М. ГОЛУБЕЦЬ¹, О.В. БІЛОУС²

ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗМІЦНЕНИХ ЕЛЕКТРОІСКРОВОЮ І ЛАЗЕРНОЮ ОБРОБКОЮ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ПРИ ТОЧІННІ ДЕРЕВИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Для підвищення стійкості дереворізального інструменту і продуктивності процесу різання деревини при точінні найбільш ефективним є комплексне бінарне покриття, отримане на інструментальній сталі Р6М5 електроіскровим легуванням з подальшою лазерною обробкою. Вперше для зміцнення дереворізального інструменту електроіскровим легуванням опробовано і підтверджено ефективність використання безвольфрамового електродного матеріалу на основі заліза з евтектичною структурою системи Fe – Mn – C – B – Si – Cr для нанесення електроіскрового покриття.

Вступ

Незважаючи на створені за останній час нові конструкційні матеріали для метало- і дереворізального інструменту, розроблені численні технологічні засоби для його зміцнення, і перш за все для нанесення різного роду зносостійких покриттів, проблема підвищення стійкості інструментальних матеріалів все ще залишається надзвичайно актуальною. Більшість досліджень у цій галузі проведено стосовно металорізального інструменту. Відомо, наприклад, використання при цьому йонно-плазмової, електронно-променевої, лазерної, електроіскрової та інших видів обробок [1]. Однак отримані позитивні результати щодо стійкості металорізального інструменту не можуть бути адекватно перенесені і рекомендовані для процесів різання деревини, яка є складним композиційним матеріалом із специфічними механо-фізико-хімічними властивостями.

З літературних джерел відомими є результати ефективного використання деяких нових методів підвищення стійкості дереворізального інструменту, наприклад, обробки на "білий шар" [2], лазерного [3] і електроіскрового [4] поверхневого зміцнення, комплексного використання електроіскрової та лазерної обробки [5] й інших видів.

Заслугує на особливу увагу метод електроіскрового легування (ЕІЛ) дереворізального інструменту. Позитивною особливістю цього методу є висока міцність зчеплення нанесеного легованого шару з матеріалом основи, можливість легування будь-якими стру-

мопровідними матеріалами, низька енергоємність процесу, простота виконання технології зміцнення на недорогівартісному обладнанні, локальність нанесення покриття без помітної деформації металу, відсутність нагрівання всього об'єму інструменту. Однак широке застосування ЕІЛ для зміцнення дереворізального інструменту стримується рядом факторів. Серед них основними є використання як електродних матеріалів тугоплавких дефіцитних сполук на основі карбиду вольфраму і значна шорсткість зміцненої поверхні.

Розширенню сфери застосування ЕІЛ для зміцнення металорізального інструменту значною мірою сприяло створення безвольфрамових електродних матеріалів на основі заліза з евтектичною структурою [6]. Водночас, на сьогодні відсутні дослідження про використання таких електродів для нанесення електроіскрових покриттів на дереворізальний інструмент і їх вплив на стійкість інструменту при різанні деревини. Відомим є також і той факт, що зменшення шорсткості зміцненої поверхні після ЕІЛ можна досягнути лазерною обробкою за допомогою оптичного квантового генератора (ОКГ).

Наведені вище міркування дозволяють сформулювати основну мету даної роботи – дослідити вплив виду нанесеного покриття (ЕІЛ з використанням евтектичного електродного матеріалу, лазерна обробка, комплексне ЕІЛ + ОКГ) на триботехнічні характеристики інструментальних сталей, встановити стійкість дереворізального інструменту залежно від режимів різання під час точіння деревини.

¹ **Володимир Михайлович ГОЛУБЕЦЬ** – дійсний член ЛАН України, доктор технічних наук, професор, Український державний лісотехнічний університет. Україна, м. Львів. Тел.: (380-322) 97-17-65. E-mail: lanu/forest.lviv.ua

² **Олександр Володимирович БІЛОУС** – аспірант, Український державний лісотехнічний університет. Україна, м. Львів. Тел.: (380-322) 97-17-65. E-mail: lanu/forest.lviv.ua

Постановка експерименту

Триботехнічні дослідження проводили за схемою "стальний індентор" (сталі У8 і Р6М5) – зразок з деревини (дуб, бук, сосна) на трибометрі ТМ-90 на базі трибометричної приставки ПМТ-75 конструкції ІПМ НАН України [7]. Стальний індентор мав форму циліндра діаметром $d=3$ мм, який переходить у конус з радіусом $R=0,5$ мм у робочій частині. Зразки з деревини – мокрої (вміст вологи 38 %) і сухої (14 %) являли собою плоскі пластини розміром $32 \times 16 \times 5$ мм, які виготовлені для тертя по них індентора як вздовж, так і впоперек волокон.

Конструкція трибометра дозволяла фіксувати силу тертя $F_{тр}$ між індентором і зразком при зворотнопоступовому русі індентора з середньою швидкістю 0,002 м/с і навантаженні 0,03 кг. Силу тертя визначали при одноразовому проході індентора ($F_{тр1}$) і після шести проходів ($F_{тр6}$) з точністю $\pm 3,0$ %. Після проведення досліджень на профілографі – профілометрі визначали величину лінійного зносу зразка з деревини (глибину лунки).

Процес різання зразків із дуба у сухому стані діаметром 100 мм шириною 25 мм моделювали різцями, що мали форму 4-гранної піраміди з кутом при вершині 45° (сталі У8 і Р6М5) на машині тертя МТ-68 [7] конструкції ІПМ НАН України, яка імітувала процес точіння. Випробування проводили при $P=10, 20, 30$ Н і $V=3, 6, 9$ м/с (відповідно шлях різання становив 0,9; 1,8; 2,7 км). Тривалість процесу становила 300 с. Різці зважували до і після випробувань і визначали інтенсивність зношування I_z , мг/км.

Зміцнення робочої частини сталюого індентора і різців здійснювали такими методами:

- електроіскровим легуванням на установці типу "Елітрон-20" виробництва Дослідного заводу ІПФ АН Молдови спеціально розробленим легуючим електроодом з евтектичного сплаву системи "Fe – Mn – C – B – Si – Cr". Енергія одиночного розряду становила 0,37 Дж, товщина покриття 60-70 мкм;
- лазерною обробкою за допомогою оптичного квантового генератора "Квант-15" виробництва Ульяновського електролампового заводу. Діаметр плями становив $\delta_p=1,284$ мм, площа $S_p=1$ мм², густина енергії $E_F=1,5$ Дж/мм². Глибина зміцнення становила 60–90 мкм;
- комплексним електроіскровим легуванням з подальшою лазерною обробкою (ЕЛЛ + ОКГ) по наведених вище режимах. При цьому отримували біпарне покриття товщиною 50–60 мкм;
- в окремих випадках, для порівняння, зміцнення виконували йонно-плазмовим напленням [8] на установці "Булат" (метод КіБ). Попередньо проводили гартування сталюих (сталі У8 і Р6М5) зразків у середовищі $BaCl_2(85\%) + MgF_2(15\%)$ з нагріванням до $T=1200$ °С і витримкою 30 с при цій температурі з подальшим відпуском у середовищі $KNaO_3(85\%) + NaOH(15\%)$ при $T=560$ °С і витримкою 2 год. Твердість після термічної обробки $HRC=60 \div 62$. Товщина йонно-плазмового покриття із нітриду титану TiN становила 3–5 мкм.

АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Порівняльна оцінка трибопоказників пари тертя "сталь – суха деревина"

Результати досліджень впливу виду покриття на триботехнічні характеристики пари "сталь – суха деревина" зведені у табл. 1, а графічна інтерпретація отриманих даних представлена на рис.1.

Таблиця 1

Результати трибометричних досліджень пари тертя "сталь – суха деревина" ($V=0,002$ м/с; $P=0,03$ кг)

Матеріали індентора і тип покриття	Матеріал деревини і напрямок досліджень			
	вздовж волокон		впоперек волокон	
	сила тертя $F_{тр}$, г			
	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$
<i>дуб</i>				
Сталь Р6М5	8,0	9,0	5,5	12,0
Р6М5+КіБ	4,5	5,5	4,0	5,5
Р6М5+ЕЛЛ	10,0	9,5	12,0	11,5
Р6М5+ОКГ	10,0	9,0	12,0	10,0
Р6М5+(ЕЛЛ+ОКГ)	3,5	3,5	4,5	4,5
Сталь У8	9,0	14,0	8,5	16,0
<i>бук</i>				
Сталь Р6М5	8,5	9,0	9,0	10,5
Р6М5+КіБ	4,0	4,5	4,5	5,0
Р6М5+ЕЛЛ	9,0	8,5	9,5	10,0
Р6М5+ОКГ	8,5	7,5	10,0	9,5
Р6М5+(ЕЛЛ+ОКГ)	3,5	2,5	4,0	3,5
Сталь У8	8,0	10,0	9,5	11,0
<i>сосна</i>				
Сталь Р6М5	7,0	7,5	8,0	8,5
Р6М5+КіБ	3,5	4,0	4,0	4,5
Р6М5+ЕЛЛ	7,5	7,0	8,5	8,0
Р6М5+ОКГ	5,5	6,0	5,0	6,5
Р6М5+(ЕЛЛ+ОКГ)	2,5	2,0	3,0	2,5
Сталь У8	8,0	8,5	8,5	9,0

Аналіз отриманих даних дозволяє відзначити, що силові втрати не зміцненої сталі Р6М5 на всіх режимах контактування індентора по деревині нижчі, ніж при проходженні індентора із сталі У8. Це пояснюється більш високою мікротвердістю сталі Р6М5 (2200...2250 Мпа) порівняно із мікротвердістю сталі У8 (2000...2100 МПа) і підтверджується меншою глибиною лунки на деревині після проходів індентора із сталі Р6М5. Глибина лунки на сосні після індентора із сталі Р6М5 становила 0,014...0,016 мм проти 0,018...0,021 мм у випадку індентора із сталі У8. Лунка після дії індентора із сталі Р6М5 має гладкі поверхні, її сідлоподібна форма не сприяє проникненню на велику глибину, тому її формування протікає без суттєвих силових втрат. Лунка після проходу індентора із сталі У8 має більш нерівну форму, що викликає підвищення сили тертя і сприяє проникненню індентора на більшу глибину (глибину лунок визначали після наробки індентора по деревині протягом 1 хв вздовж волокон). Варто відзначити, що при збільшенні твердості деревини, різниця у силових втратах між сталями У8 і Р6М5 значно зростає. Так, якщо у випадку тертя індентора по сосні максимальна різниця між $F_{тр}$ становила до 0,001 кг, то при роботі у парі з дубом ця величина зросла до 0,004 ... 0,005 кг. Враховуючи вище відзначене, подальші дослідження впливу нанесе-

них покриттів на триботехнічні характеристики пари "сталь-деревина" проводили в основному із застосуванням сталі Р6М5, порівнюючи їх в окремих випадках зі сталлю У8.

Аналізуючи процеси контактної взаємодії сталі Р6М5 з досліджуваними покриттями у парі з різними видами деревини, можна відзначити таке. Для сталі Р6М5 з йонно-плазмовим покриттям із нітриду титану, отриманим методом КіВ, характерним є той факт, що із збільшенням часу випробувань сила тертя зростає, тобто $F_{тр1} < F_{тр6}$. Це спостерігається як при терті вздовж волокон, так і впоперек них (табл. 1). Очевидно із збільшенням часу випробувань спостерігається неодноразова деформація зруйнованих волокон, яка призводить до того, що слід від індентора (лунка) набуває сідлової форми, краї лунки гладкі. Твердість покриття із нітриду титану різко зростає порівняно з незміцненою сталлю Р6М5 (4600...4800 МПа), що

зменшує значення сили тертя (рис.1), хоча глибина лунки неістотно збільшується (0,023...0,025 мм).

При проходженні індентора з покриттями після обробки ОКГ і ЕІЛ на деяких деревинних матеріалах спостерігається зворотня залежність – $F_{тр1} > F_{тр6}$ (табл.1). Аналіз профілограм показує, що у випадку тертя індентора після обробки ОКГ з мікротвердістю 6200...6250 МПа лунка набуває клиноподібної форми з рівними краями, тобто при терті переважає процес різання, який із збільшенням часу випробувань не викликає зростання сили тертя. Поверхня залишається достатньо гладкою, глибина лунки становить 0,044...0,046 мм.

При роботі індентора з покриттям, отриманим ЕІЛ мікротвердістю 5100...6500 Мпа, сила тертя росте, що пояснюється підвищеною шорсткістю поверхні індентора і це наочно простежується на профілограмі лунки (глибина лунки 0,028...0,032 мм).

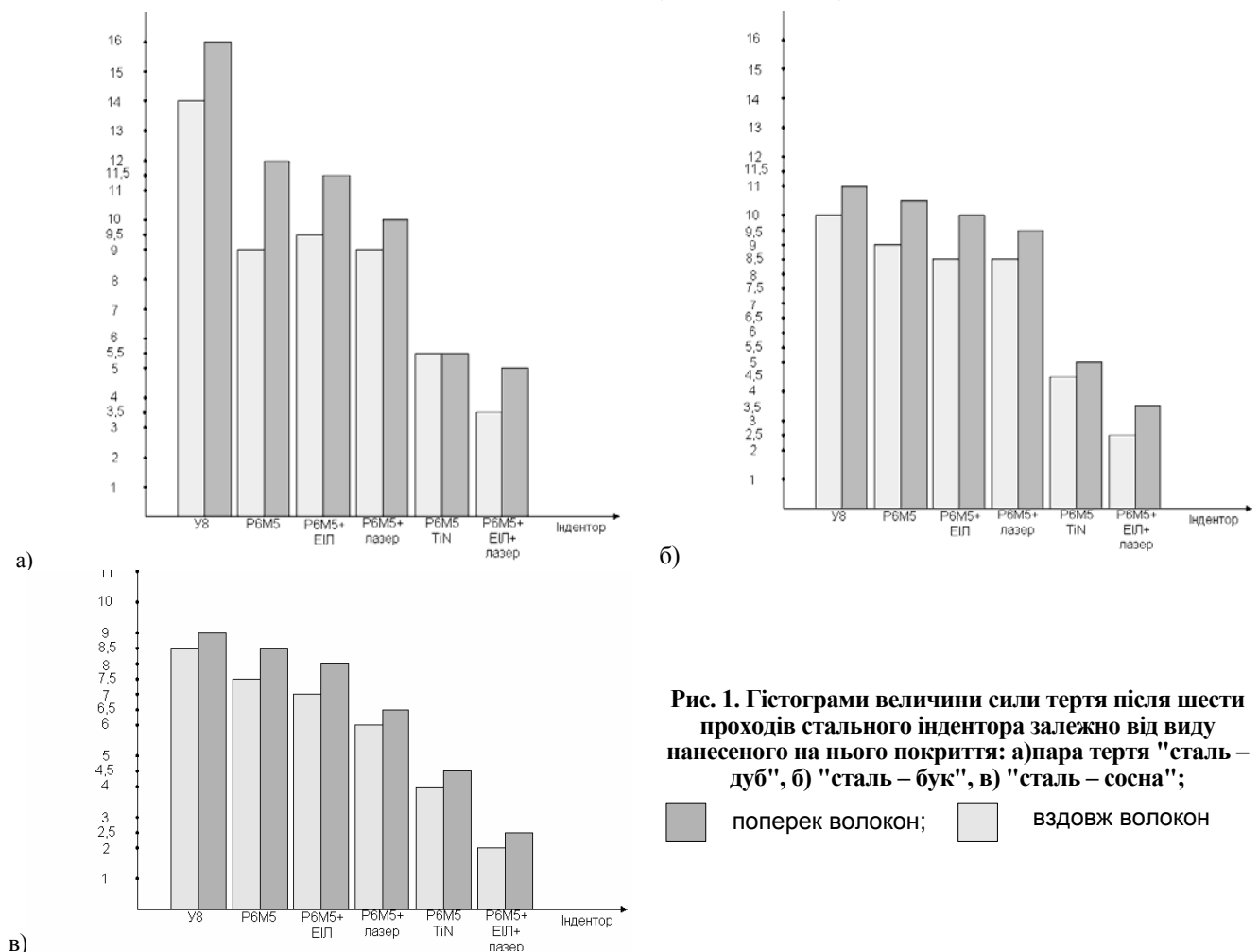


Рис. 1. Гістограми величини сили тертя після шести проходів сталюого індентора залежно від виду нанесеного на нього покриття: а) пара тертя "сталь – дуб", б) "сталь – бук", в) "сталь – сосна";

■ поперек волокон; □ вздовж волокон

У випадку випробувань комплексного покриття (ЕІЛ + ОКГ) мікротвердістю 9100...9300 МПа спостерігається така залежність сил тертя – $F_{тр1} \geq F_{тр6}$, тобто прослідковується практично її зменшення, що характеризує процес як різучий. Форма і поверхня лунки клиноподібна, гладка, глибиною 0,060...0,064 мм, а це сприяє зменшенню зусиль різання і зменшенню силових витрат у зоні контакту.

Залежно від виду досліджуваної деревини (дуб, бук, сосна) глибина лунки також змінюється. Найбі-

льше значення спостерігається при терті індентора по сосні (0,060...0,064 мм), найменше – для дуба (0,030...0,032 мм). Причому така залежність характерна не тільки для комплексного покриття, але і для всіх інших, включаючи сталь Р6М5 без покриття, що пов'язано з величиною твердості досліджуваних деревинних матеріалів.

Таким чином, на підставі проведених досліджень можна зробити однозначний висновок про те, що нанесення комплексного (біпарного) покриття електро-

іскровим легуванням з використанням електродного матеріалу з подальшою лазерною обробкою істотно підвищує ріжучі властивості інструментальної сталі, що призводить до зменшення силових втрат під час проходження індентора, а також збільшує глибину проникнення індентора у деревину.

2. Вплив вологи деревини на трибопоказники пари тертя "сталь – деревина"

У реальних умовах часто обробці піддається деревина, що не пройшла відповідного сушіння. У зв'язку з цим, певний інтерес становили дослідження впливу вологи у деревині на процеси контактної взаємодії пар "стальний індентор – волога деревина". У цьому випадку застосовували плоскі зразки з деревини з вмістом вологи 38 %.

У всіх випадках, як при терті по різних породах деревини, так і по напрямку проходження сталюого

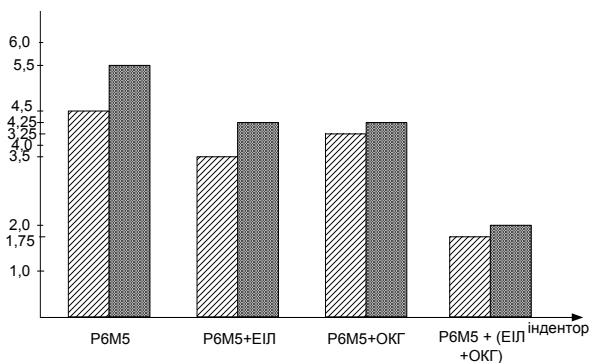
індентора (вздовж і впоперек волокон), сила тертя із збільшенням числа проходів індентора до шести по вологій деревині зменшується (табл. 2, рис. 2). Очевидно, волога деревина сприяє вигладжуванню робочої поверхні, спостерігається розшарування волокон, стінки лунок стають гладкими. Як і у випадку досліджень по сухій деревині, у даних дослідженнях з ростом твердості деревини рівень силових витрат підвищується, наприклад, збільшення $F_{тр}$ по сосні і дубу становить 2,0...2,5 рази при терті вздовж волокон. При терті впоперек волокон спостерігається підвищення сили тертя в 1,2...1,5 рази.

Контакт сталюого індентора з вологою деревиною у всіх випадках досліджень приводить до зменшення в 2,5 рази сили тертя порівняно з сухою деревиною. Очевидно, це пояснюється наявністю у зоні контакту вологи, яка виконує змащувальну дію на матеріал.

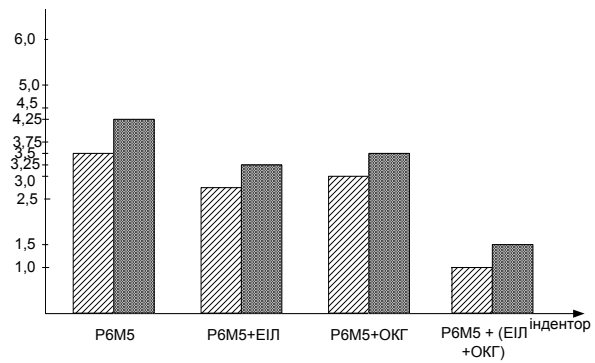
Таблиця 2

Результати трибометричних досліджень пари тертя "сталь-волога деревина"

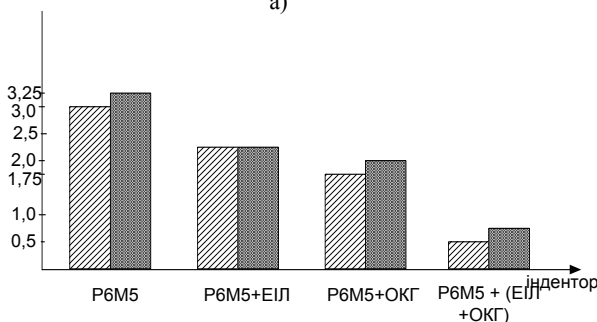
Матеріал індентора і метод нанесення покриття	Матеріал деревини і напрям волокон											
	дуб				бук				сосна			
	вздовж		впоперек		вздовж		впоперек		вздовж		впоперек	
Сила тертя – $F_{тр}$, г												
Сталь Р6М5 (без покриття)	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$	$F_{тр1}$	$F_{тр6}$
Р6М5 (без покриття)	5,0	4,5	6,0	5,5	3,75	3,5	4,5	4,25	3,25	3,0	3,5	3,25
Р6М5 + ЕІЛ	3,75	3,50	4,5	4,25	3,0	2,75	3,5	3,25	2,75	2,25	3,0	2,25
Р6М5 + ОКГ	4,25	4,0	4,50	4,25	3,5	3,0	3,75	3,50	2,0	1,75	2,25	2,0
Р6М5 + (ЕІЛ + ОКГ)	2,0	1,75	2,5	2,0	1,5	1,0	1,75	1,5	0,75	0,5	1,0	0,75



а)



б)



в)

Рис. 2. Гістограми величини сили тертя після шести проходів сталюого індентора з покриттям по вологій деревині при $V=0,002$ м/с і $P=0,03$ кг: а) пара тертя "сталь – дуб"; б) "сталь – бук"; в) "сталь – сосна";

■ - тертя поперек волокон;
 ▨ - тертя вздовж волокон.

Необхідно відзначити також, що всі види нанесених на сталюий індентор покриттів зменшують втрати на тертя порівняно з інденторами без покриття. Найбільш ефективно працює комплексне біпарне покриття (ЕІЛ + ОКГ), де сила тертя у зоні контакту з вологою деревиною є найменшою порівняно з іншими видами покриттів.

3. Зносостійкість покриттів при роботі у парі зі сталюим контртілом

З метою підтвердження отриманих результатів на трибометрі і для оцінки поведінки покриттів у більш жорстких режимах роботи, проведені дослідження стійкості покриттів при фрикційному контакті у парі зі сталлю 65Г. Оцінку трибовластивостей матеріалів здійснювали при обертовому русі зразка з покриттям з

$V=5$ м/с і $P=0,1$ МПа. У процесі експерименту фіксували силу тертя і лінійне зношення.

Як видно з наведених результатів (табл. 3), нанесення покриттів на декілька порядків підвищує стійкість проти спрацювання досліджуваних інструментальних сталей.

Таблиця 3

Результати трибометричних досліджень матеріалів і покриттів

Матеріали інден-тора і метод нане-сення покриття	Коефіцієнт тертя, f	Інтенсивність зношування I, мг/км
Сталь Р6М5	0,40	250
Р6М5+ОКГ	0,36	42
Р6М5+(ЕІЛ+ОКГ)	0,33	3,3
Сталь У8	0,49	280
У8+ОКГ	0,43	20
У8+(ЕІЛ+ОКГ)	0,33	5,0

При цьому підвищений комплекс триботехнічних властивостей мають комплексні біпарні покриття. Нанесення цих покриттів на сталі У8 і Р6М5 не змінює рівня силових втрат. Коефіцієнт тертя в обох випадках дорівнює 0,33. Інтенсивність зношування сталей теж знаходиться на рівні одного порядку. Певна різниця у значеннях коефіцієнтів тертя для сталей У8 і Р6М5 спостерігається після ЕІЛ. Пояснюється це тим, що після ЕІЛ не вся поверхня металу покрита легуючими елементами евтектичного електроду, а лише її 70...80%. У випадку комплексного (ЕІЛ + ОКГ) зміцнення лазерна обробка сприяє рівномірному розподілу легуючих елементів по всій контактній поверхні зразка, про що свідчить вузький діапазон розходження показників мікротвердості (в межах 200...300 МПа), тоді як для покриття після ЕІЛ цей діапазон зростає (400...500 МПа). Найвища зносостійкість комплексного покриття досягається завдяки його структурі і комплексу фізико-механічних властивостей сформованого зміцненого шару металу, у т.ч. і його високій твердості.

У випадку обробки лазером спостерігається перебудова структури верхнього шару металу. Мікроструктура зони лазерного нагрівання з оплавленням поверхні на сталі У8 являє собою два відмінних один від другого шари. Перший з них нагрівається до розплавлення і має дендритно-стовпчикову первинну структуру [9]. У процесі подальшого охолодження формується вторинна структура, яка складається з мартенситу і залишкового аустеніту [10]. Фазові перетворення при нагріванні сталі У8 імпульсним методом лазерного впливу відрізняються простотою завдяки тому, що структура даної сталі складається з перліту і не містить у складі вторинного мартенситу [11]. Утворення у процесі лазерної обробки мартенситу веде до підвищення твердості зміцненого шару металу і, як наслідок, підвищення зносостійкості.

Аналогічна картина підвищення поверхневої твердості спостерігається і при обробці лазером швидкорізальної сталі Р6М5. Температура нагрівання лежить у межах A_{c1} - A_{cm} . Структура складається з дрібногвокподібного мартенситу, невеликої кількості залишкового аустеніту і багаточисельних карбідів.

Підсумовуючи обговорення результатів досліджень у розділах 1-3, можна констатувати, що найви-

щу зносостійкість і найнижчі втрати на тертя мають інструментальні сталі У8 і Р6М5, на робочу поверхню яких нанесено комплексне біпарне покриття після ЕІЛ і обробки ОКГ. При цьому за електрод для ЕІЛ використовується матеріал з евтектичною структурою системи Fe – Mn – C – B – Si – Cr. Тому перспективність застосування такого покриття для обробки різання деревинних матеріалів не викликає ніяких сумнівів.

4. Вплив режимів різання на стійкість інструментальної сталі після комплексного електроіскрового легування і лазерної обробки

Результати моделювання процесу різання зразків із дуба у сухому стані інструментальними сталями з нанесеним комплексним (ЕІЛ + ОКГ) покриттям за-свідчують (рис. 3) зменшення в 4...6 раз інтенсивності зношування ріжучого інструменту із сталі У8 і до 5...7 раз – із сталі Р6М5.

Спостерігається певна закономірність інтенсивності зношування залежно від режимів різання. При швидкості різання $V = 3$ м/с і навантаженні $P = 10$ Н різець спрацьовується інтенсивніше, ніж при $V = 9$ м/с і $P = 30$ Н. Очевидно, волокниста неоднорідна структура сухої деревини чинить опір проникненню різця. Однак із збільшенням швидкості різання і навантаження ефективність різання деревини зростає і зносостійкість різця підвищується.

Найбільша стійкість різального інструменту з покриттям після ЕІЛ + ОКГ спостерігається при точінні за допомогою сталі Р6М5. Більше того, проведене контрольне зважування контртіла із сосни до і після обробки різанням при $V = 9$ м/с і $P = 10$ Н протягом 10 с показало, що у випадку застосування як різця сталі Р6М5 знімання деревини становило 2,02 г (0,0202 кг), у випадку цієї ж сталі з комплексним ЕІЛ+ОКГ покриттям втрати ваги дерев'яного контртіла становлять 5,51 г (0,0551 кг), тобто майже в 2 рази більше. Таким чином, нанесення комплексного покриття на сталь Р6М5 забезпечує не тільки підвищену зносостійкість дереворізального інструменту, але і підвищує продуктивність процесу різання.

Висновки

- Проведена оцінка процесів контактної взаємодії інструментальних сталей У8 і Р6М5 з нанесеними покриттями (йонно-плазмовим на основі нітриду титану, електроіскровим з евтектичного електроду на основі системи Fe – Mn – C – B – Si – Cr, сформованим на базі лазерного опромінення) при їх тестуванні у лабораторних умовах у парі з деревинними матеріалами (дуб, бук, сосна) вздовж і впоперек волокон. Встановлені основні триботехнічні характеристики контактуючих пар "сталь- деревина" – силу (коефіцієнт) тертя, зносостійкість (інтенсивність зношування), ріжучу здатність, у т.ч. при роботі у парі з сухими і вологими деревинними матеріалами, а також закономірності їх зміни залежно від виду нанесених покриттів і режимів різання (параметрів тертя).
- Показано, що найбільш ефективним з точки зору підвищення стійкості дереворізального інструменту і продуктивності процесу різання деревини при точінні є комплексне біпарне покриття, отримане на інструментальних сталях електроіскровим легуванням з по-

дальшою лазерною обробкою. Найбільшу стійкість деревообробного інструменту з комплексним покриттям отримано для сталі Р6М5. Вторинна лазерна обробка сприяє перебудові мікроструктури поверхневого шару металу після електроіскрового легування і покращенню комплексу його фізико-механічних властивостей – рівномірному розподілу легуючих елементів по всій поверхні, підвищенню мікротвердості, зниженню шорсткості зміцненої поверхні і т.д. Перспективність застосування комплексного біпарного покриття підтверджено у більш жорстких умовах його роботи – при фрикційному контакті у парі тертя "інструментальна сталь Р6М5 – сталь 65Г".

Вперше для зміцнення дереворізального інструменту електроіскровим легуванням опробовано і підтверджено ефективність використання безвольфрамо-

вого електродного матеріалу на основі заліза з евтектичною структурою системи Fe – Mn – C – B – Si – Cr для нанесення електроіскрового покриття. Використання такого недефіцитного і низьковартісного електродного матеріалу порівняно з електродами із твердих сплавів типу ВК, ТК і ТТК, його подальше вдосконалення з метою розширення у складі легуючих елементів, зменшення шорсткості нанесеного електроіскрового покриття вторинною лазерною обробкою – це ті основні фактори, що можуть істотно розширити сферу застосування електроіскрового легування у деревообробній промисловості для зміцнення ріжучого інструменту.

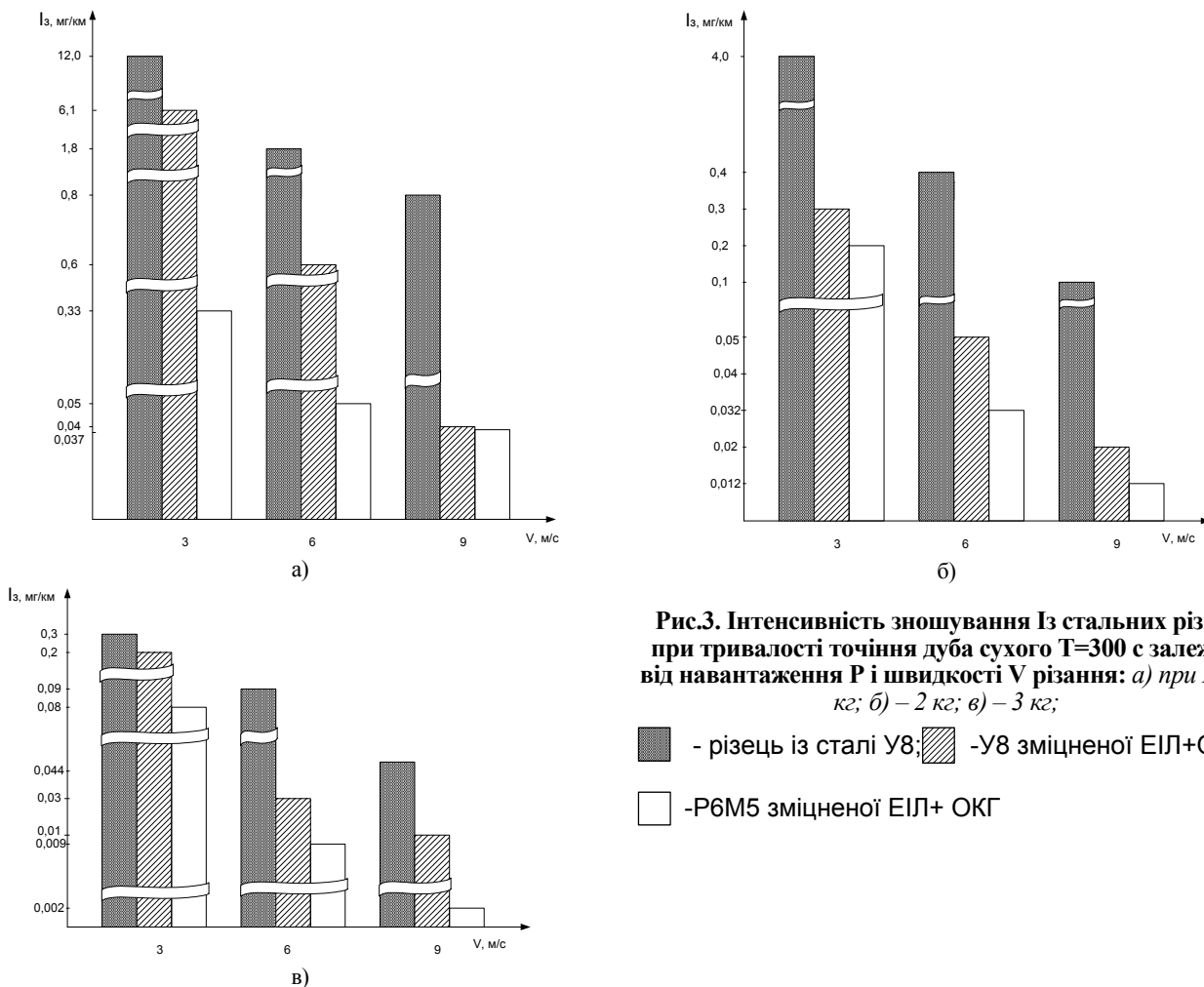


Рис.3. Інтенсивність зношування I_z сталевих різців при тривалості точіння дуба сухого $T=300$ с залежно від навантаження P і швидкості V різання: а) при $P=1$ кг; б) – 2 кг; в) – 3 кг;

■ - різець із сталі У8; ▨ -У8 зміцненої ЕІП+ОКГ;
□ -Р6М5 зміцненої ЕІП+ ОКГ

ЛІТЕРАТУРА

1. Джеломанова Л.М. Прогрессивные методы нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент. Обзор. – М., НИИМаш, 1979. – 48 с.
2. Кірик М.Д. Технологічні основи підвищення стійкості проти спрацювання дереворізального інструменту з високовуглецевих та низьколегованих інструментальних сталей: Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Львів: УкрДЛТУ, 1996. – 37 с.
3. Коваленко В.С., Головка Л.Ф., Меркулов Г.В. и др. Упрочнение деталей лучом лазера. – К.: Техніка, 1981. – 132 с.
4. Иванов В.И., Коваль Н.П. Опыт применения электроискрового легирования для упрочнения инструментов и восстановления деталей машин// Электронная обработка металлов. – 1977. – № 4. – С. 47-52.

5. Ботвинко В.П. Підвищення працездатності інструменту з швидкоріжучих сталей шляхом комбінованого впливу електроіскрового легування та лазерної обробки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – К.: ПІМ НАНУ, 1998. – 19 с.
6. Пашечко М.И., Голубец В.М., Чернец М.В. Формирование и фрикционная стойкость эвтектических покрытий.– К.: Наук. думка, 1993. – 344 с.
7. Мамыкин Э.Т., Ковпак М.К., Юга А.И. и др. Комплекс машин и методика определения антифрикционных свойств материалов при трении и скольжении// Порошковая металлургия. – 1973. – № 1. – С. 67-72.
8. Установка серии "Булат" для нанесения защитных покрытий на металлы и диэлектрики у вакууме. Информ.листок ВИМИ № 78-0429, 1978. Серия 10-12.

9. Коваленко В.С. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки металлов. – К.: Вища школа, 1983. – 176 с.

10. Коваленко В.С., Головки Л.Ф., Черненко В.С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. – К.: Техніка, 1990. – 192 с.

11. Бураков В.А., Броввер Г.И., Буракова Н.М. К вопросу о теплостойкости стали Р6М5 после лазерной обработки// Металловедение и термическая обработка металлов. – 1982. – № 9. – С. 33-36.

V. Holubets, O. Bilous

**TRYBOTECHNICAL PROPERTIES OF
COMPLEX ELECTRIC-SPARKING
TREATMENT AND LASER PROCESSING OF
INCREASING THE STEADINESS OF THE
WOODCUTTING INSTRUMENT**

The study considers the peculiarities of increasing the steadiness of the woodcutting instrument by dint of complex electric-sparking treatment and laser processing. Exposed a structure of complex coverage, distribution of chemical elements in the upper layer and results of roentgen-phase analysis.