

порошкової проволоки с тугоплавкими добавками. *Наука и образование*. 2016. № 2. С. 76–80.

9. Похмурский В.В., Студент М.М., Гвоздецкий В.М., Похмурская А.В. Порошковые проволоки серии ФМИ для электродугового напыления покрытий (Обзор). *Автоматическая сварка*. 2011. № 9. С. 52–57.

10. Pokhmurska A., Student M., Bielanska E. et al. Tribological Properties of Arc Sprayed Coatings Obtained from FeCrB and FeCr Based Powder Wires. *Surface & Coating Technology*. 2002. № 151–152. P. 490–494.

11. Pokhmurskii V., Dovhunya V., Student M. et al. Triboelektrochemiczne wlasciwosci powlok natryskiwanych lukowo na stopy aluminium. *Inzynieria Powierzchni*. 2008. № 1. P. 9–13.

12. Wear Resistance of Electrospark-Deposited Coating in Dry Sliding Friction Conditions / V. M. Holubets', M. I. Pashechko, J. Borc, O. V. Tisov, Yu. S. Shpuliar. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2021. Vol. 60. P. 90-96.

13. Pashechko M., Lenik K.. Segregation of Atoms of the Eutectic Alloy Fe–Mn–C–B–Si–Ni–Cr at Friction Wear. *Wear*. 2009. Vol. 267. Issues 5–8. P. 1301–1304.

Голубець В. М.¹, Пашечко М. І.², Шпуляр Ю. С.¹, Гасій О. Б.¹
(¹НЛТУ України, м. Львів; ²Люблінська політехніка, м. Люблін, Польща)
ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТТІВ ІЗ
ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ПІД ЧАС ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЕРЕВИНИ
E-mail: o.hasiy@gmail.com

Основною вимогою до сталей, які використовують для виготовлення різального інструмента є високі значення твердості, зносо- і теплостійкості, міцності та в'язкості. Вказані характеристики взаємопов'язані. Так, зі збільшенням твердості сталі, яка залежить від термообробки, зростає зносотривкість. Міцнісні характеристики інструменту зумовлені механічними, фізико-хімічними, режимами, тепловими та іншими процесами, які відбуваються у зоні контакту з оброблювальним виробом під час різання. Важливою характеристикою для інструментальних сталей є їх прогартовуваність. Під час роботи різального

інструменту працює дуже тонка смужка металу – лезо, яке залежно від питомого навантаження і швидкості різання нагрівається. Якщо робоча температура в зоні контакту перевищує температуру відпуску, твердість інструменту знижуватиметься через розпад мартенситу і укрупнення частинок карбідної фази, а інструмент затуплюватиметься. Тому для підвищення стійкості різального леза інструменту проти зношування потрібна твердість, що перевищує твердість оброблювального матеріалу, а для поверхневого зміцнення шару металу необхідна і висока адгезія.

Для підвищення стійкості інструменту важливе значення мають технологічні методи модифікування різального леза, зокрема, електроіскрове легування (ЕІЛ), яке дає можливість змінювати властивості поверхневого шару вихідного металу через формування на ньому нового за структурою та хімічним складом матеріалу.

Дослідженню зносотривкості електроіскрових покриттів (ЕІП) присвячена велика кількість праць. Для виготовлення електродів для ЕІЛ використовують різні матеріали: тверді сплави на основі вольфраму та титану із додаванням вуглецю (ВК20У, Т15К6У), ферохром, білий чавун тощо, а також порошкові дроти (ПД).

Відомі також спроби пошуку недорогих електродних матеріалів із безвольфрамових [1] і евтектичних сплавів [2], ПД та комбінованих електродів [3]. Перспективними вважають комплексні технології: ЕІЛ з лазерною обробкою [4], комбіноване легування ферохромом у поєднанні з графітом [5]. Однак поведінка ЕІП, сформованих ЕІЛ із ПД за дії силових показників під час різання майже не вивчена.

Метою роботи є аналіз ефективності ЕІЛ сталі 9ХС з використанням як електродів твердих сплавів на основі титану Т15К6, так і ПД різних систем, перевірити раціональні технологічні режими нанесення ЕІП на різальні кромки інструменту та оцінити їх вплив на силові показники фрезерування деревинних матеріалів.

Лабораторні тестування моменту опору різання під час фрезерування деревини визначали на трибометрі СМЦ-2, який призначений для випробування

матеріалів на тертя та зношування. До схеми випробувань підключали аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та персональний комп'ютер (ПК). Для досліджень використовували дискові фасонні фрези діаметром 50 мм, товщиною 4 мм з інструментальної сталі 9ХС зі зубцями після гартування і низького відпуску (HRC 62). На робочу частину зубців наносили ЕП з порошкових дрітів ПД і ПДГ системи Fe-Cr-C-B, ПД1 системи Fe-Mn-C-B, а також із твердого сплаву Т15К6 (табл.). Основні дані про електроди для нанесення покриттів технологією електроіскрового легування наведені в таблиці 1. Фрезерування здійснювали на нерухомих зразках з дуба і сосни розміром 50х60 мм як в сухому (10 % вологи), так і у вологому (40 %) станах вздовж і поперек волокон. Впродовж досліджень одночасно фіксували зміну моменту опору різання безконтактним індуктивним давачем, змонтованим на валу установки СМЦ-2, сигнал з якого за допомогою АЦП записували на ПК.

Таблиця 1 – Характеристика електродів для нанесення ЕП

№ сплаву	Електрод	Марка, позначення	Структура, система	Діаметр, мм	Твердість
1	сталь	9ХС	мартенсит відпуску	50,0	62 HRC
2	твердий сплав	Т15К6	TiC, Co, WC	необмежений	90-92 HRC
3	порошковий дріт	ПД1	Fe-Mn-C-B	2,0	504 HV ₅
4	порошковий дріт	ПД (80Х20Р3Т)	Fe-Cr -C -B	3,2	1710 HV _{0,02}
5	порошковий дріт комбінований	ПДГ [80Х20Р3Т + Г (МПГ-7)]	Fe-Cr- C - B + графіт (Г)	6,0	2311 HV _{0,02}

На отриманих залежностях моменту опору різання M_p від часу t досліджень визначали: холостий хід фрези до початку контакту з дерев'яним зразком, початок контакту, області різання, розвантаження та холостий хід фрези після контакту. Залежності $M_p = f(t)$ під час експериментів записували як для фрези з незміцненими

зубцями (серійної), так і зі зміцненими. Зміцнені зубці отримали нанесенням ЕП порошковими дротами і твердого сплаву Т15К6 для всіх умов випробувань з деревинними матеріалами в сухому та вологому станах під час фрезерування вздовж і поперек волокон.

Результати розрахунків моменту опору різання дуба в сухому і вологому стані наведено на рис. 1 а, б, сосни – на рис. 1 с, d. Для аналізу зусилля під час фрезерування деревинних матеріалів оцінкою моменту опору різання за збереження всіх інших умов експериментів використовували таке твердження: що менша сила різання, то меншим є момент опору.

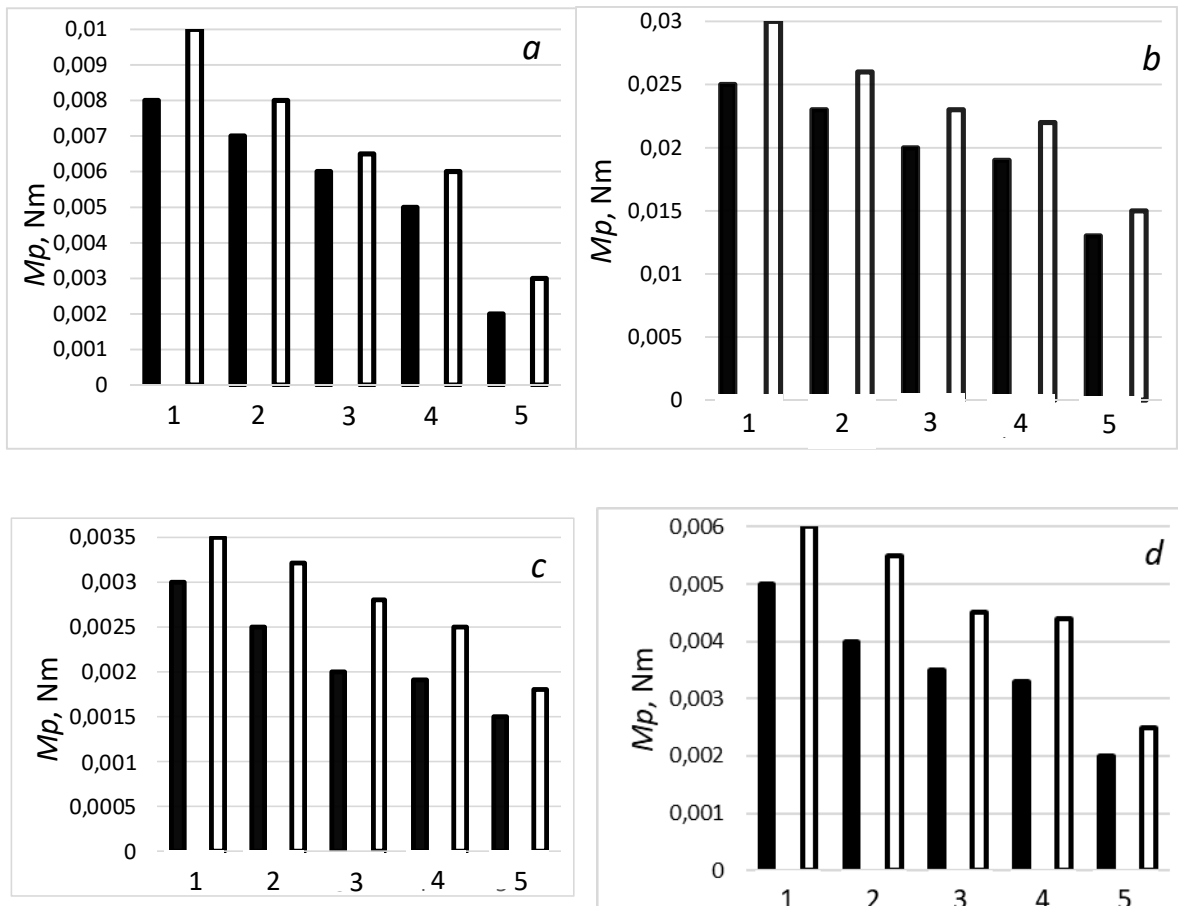


Рис. 1. Усереднені значення зміни моменту M_p опору різанню зубців сталі 9ХС після фрезерування дуба у сухому і вологому станах поперек (■) і вздовж (□) волокон: 9ХС – без ЕП (1); з нанесеним ЕП електродами із Т15К6 (2); ПД1 (3); ПД (4) і ПДГ (5); навантаження P від 0 до 3 МПа; швидкість різання 0,67 м/с; а, б – дуб сухий і вологий, відповідно; с, d – сосна суха і волога відповідно

Аналізуючи процес різання сосни і дуба (рис. 1) серійною фрезою та фрезою зі зміцненими зубцями твердим сплавом Т15К6 і порошковими дротами ПД1, ПД і ПДГ, можна відзначити, що нанесення ЕП запропонованими електродами призводить до зменшення абсолютних значень моменту опору різання порівняно з результатами M_p , отриманими за різання незміцненими зубцями фрези.

Встановлено більші значення M_p у всіх випадках фрезерування сосни і дуба вздовж волокон порівняно з різанням поперек волокон як в сухому, так і вологому станах деревини. Найбільші значення моменту опору різання як вздовж, так і поперек волокон зафіксовано за фрезерування вологого дуба. Зафіксовано також більші абсолютні значення M_p за фрезерування сосни у стані вологості 40 % порівняно зі сухою сосною, як вздовж, так і поперек волокон фрезами з нанесеними на зубці ЕП, в т.ч. і серійною без покриття. Надалі в сторону зменшення показника M_p відзначається різання сухого дуба і сухої сосни. Збільшення силових показників під час фрезерування дуба і сосни у вологому стані не суперечить літературним джерелам, адже відомо, що сила різання вологої деревини завжди на 5-10 % є більшою, ніж сухої [6].

Література

1. Егоров Ф. Ф., Верхотуров А. Д., Подчерняева И. А., Повещенко В. И. Использование безвольфрамовых электродных материалов для упрочнения различной о.настки и инструмента методом электроискрового легирования. *Электронная обработка материалов*, 1987. № 4. С. 79-81.
2. Pashechko M. I., Golubets' V. M., Gasii O. B., Chaikovs'kii B. P. Properties of Eutectic Electrode Materials for Electrospark Alloying. *Materials Science*. 1991. Vol. 27 (1), P. 47–51.
3. Holubets' V. M., Pashechko M. I., Barszcz M., Borc J. Micromechanical Characteristics of the Surface Layer of 45 Steel after Electric-spark Treatment. *Materials Science*. 2019. Vol. 55 (3). P. 409-416.

4. Wear Resistance of Electrospark-Deposited Coating in Dry Sliding Friction Conditions / V. M. Holubets', M. I. Pashechko, J. Borc, O. V. Tisov, Yu. S. Shpuliar. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2021. Vol. 60. P. 90-96.

5. Іващенко Є. В., Лобачова Г. Г., Шаповалова Н. А., Ігнатюк К. Є. Створення функціональних покриттів на поверхні маловуглецевої сталі багатостадійним електроіскровим легуванням хромом та графітом у насичувальних середовищах. *Проблеми тертя та зношування*. 2016. № 2 (71). С.62-64.

6. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учебник. М.: МГУЛ, 2004. 306 с.

**Гончарук О. О., Головка Л. Ф., Кагляк О. Д.,
Волошко С. М., Бурмак А. П., Данилейко О. О.
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ)**

**АЛМАЗОВМІСНІ БРОНЗОВІ ПОКРИТТЯ НА СТАЛІ З
ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

E-mail: danyleiko.oleksandr@gmail.com

Лазерні технології синтезу алмазовмісних шарів розглядаються як ефективний спосіб створення абразивного інструменту нового покоління [1-3]. Використання бронзових сплавів як зв'язки дозволяє отримати міцні металургійні з'єднання з алмазними зернами [4-6]. При цьому важливим завданням є оптимізація режимів лазерної обробки для забезпечення щільного шару без тріщин та дефектів [7, 8].

Дослідження виконували на сталевій підкладці 40Л (ГОСТ 977-88) із мікротвердістю 153-180 HV. Алмазні зерна – синтетичні AC125, фракція 425/300, статична міцність 166 Н. Зв'язка – бронза БрО10 (міцність на згин 450 МПа, мікротвердість 1150 МПа). Суміш (бронза + 20 % алмазів) механічно змішували 3 год, наносили на підкладку шаром 5×2,4 мм, ущільнювали роликом.

Лазерне спікання проводили оптоволоконним лазером ($\lambda = 1,06$ мкм, потужність 500 і 3000 Вт, час дії 0,18-1,8 с, швидкість 0,1-1 м/хв, діаметр плями – 3 мм). Процес відбувався у середовищі аргону (20 л/хв, кут подачі 45°). Основні параметри лазерного спікання наведено в табл. 1.