

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<http://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40280220>

Article received 02.03.2018 p.

Article accepted 29.03.2018 p.

УДК 016:621.789.1

ISSN 1994-7836 (print)

ISSN 2519-2477 (online)



✉ Correspondence author

I. M. Honchar

gonchar0405@ukr.net

**В. М. Голубець, І. М. Гончар, Ю. С. Шпуляр**

*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна*

#### ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ МЕТАЛО- І ДЕРЕВОРІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НАНЕСЕННЯМ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТЬ

Проаналізовано характеристики матеріалів, що використовують для виготовлення різального інструменту. Встановлено, що важливою характеристикою для інструментальних сталей є їх прогартовуваність. Але якщо робоча температура в зоні контакту інструмент-деталь перевищує температуру відпуску, то твердість інструменту знижується через розпад мартенситу та укрупнення частинок карбідної фази, і інструмент буде затуплюватись. Тому важливою прикладною задачею підвищення стійкості різального інструменту є поверхневе зміцнення лека. Проведено дослідження щодо поверхневого зміцнення метало- і дереворізального інструменту з використанням нових комбінованих електродів для нанесення електроіскрового покриття (ЕІП) методом електроіскрового легування (ЕІЛ). У розроблених комбінованих електродах використано відомі тверді сплави ТК, ВК, порошковий дріт ПД 80Х20Р3Т з додаванням до них компоненту "К". Виконано експериментальні дослідження процесу свердління зразків із сталі 40Х, загартованої до твердості HRC 38–40. За інструмент взято свердла марки HSS (аналог швидкорізальна легувана сталь Р6М5) швейцарської фірми IRWIN. Свердління здійснено цими свердлами незміцненими, зміцненими твердими сплавами ТК і ВК, порошковим дротом ПД 80Х20Р3Т, а також порошковим дротом ПД 80Х20Р3Т з додаванням до них компоненту "К". Встановлено, що стійкість свердел, зміцнених порошковим дротом ПД80Х20Р3Т+"К", порівняно зі серійним незміцненим збільшилась майже у 7 разів. Проведено також поверхневе зміцнення ЕІЛ зубців стрічкової пилки із сталі Д6А (аналог 50ХГФМА) для пиляння деревинних матеріалів, з використанням електроду Т15К6+"К". Порівняльні дослідження проведено під час розпилювання деревини ясеня. За результатами досліджень встановлено, що ресурс роботи стрічкової пилки, зміцненої ЕІЛ, збільшився у 2 рази порівняно з незміцненими пилками. На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що внаслідок зміни структури поверхневого шару металу підвищується його твердість, а завдяки високій іонізації міжелектродного простору – виникають сприятливі умови для перебігу реакцій, які зумовлюють зміну його хімічного складу. Однак для пояснення механізму процесу зміцнення наведені твердження потребують детальних металографічних досліджень.

**Ключові слова:** покриття електроіскрове; легування електроіскрове; свердло; пилка стрічкова; електрод; сплав твердий; дріт порошковий; стійкість; зміцнення поверхневе.

**Вступ.** Основною вимогою до сталей, що використовують для виготовлення різального інструменту, є високі значення твердості, зносостійкості, теплостійкості, міцності та в'язкості. Зазначені характеристики взаємозв'язані між собою. Так, із збільшенням твердості сталі, яка залежить від термооброблення, збільшується зносостійкість. Міцнісні характеристики інструменту зумовлені механічними, фізико-хімічними, режимними, тепловими та іншими процесами, що відбуваються в зоні контакту з оброблювальним виробом під час різання. Важливою характеристикою для інструментальних сталей є їх прогартовуваність (здатність гартуватися на певну глибину). У процесі роботи різального інструменту працює дуже тонка смужка металу – лека, яке залежно від питомого навантаження і

швидкості різання нагрівається. Якщо робоча температура в зоні контакту перевищує температуру відпуску, твердість інструменту буде знижуватися через розпад мартенситу й укрупнення частинок карбідної фази, а інструмент буде затуплюватись. Тому для підвищення стійкості різального лека інструменту проти зношування потрібна висока твердість, що перевищує твердість оброблюваного матеріалу, а у разі поверхневого зміцнення шару металу необхідна і висока адгезія.

У табл. 1 подано приклади деяких груп інструментальних сталей і твердих сплавів з даними про їх характеристики і можливість виготовлення конкретних інструментів або оброблення матеріалів (Diachenko, et al., 2007; Kiryk, 1999; Guliaev, 1977).

#### Інформація про авторів:

**Голубець Володимир Михайлович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технології матеріалів і машинобудування.

Email: golubets.volodymyr@gmail.com

**Гончар Іван Миколайович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології матеріалів і машинобудування.

Email: gonchar0405@ukr.net

**Шпуляр Юрій Степанович**, інженер I кат. кафедри технології матеріалів і машинобудування. Email: tmm@nltu.edu.ua

**Цитування за ДСТУ:** Голубець В. М., Гончар І. М., Шпуляр Ю. С. Підвищення стійкості метало- і дереворізального інструменту нанесенням електроіскрових покриттів. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 2. С. 111–114.

**Citation APA:** Golubets, V. M., Honchar, I. M., & Shpulyar, Yu. S. (2018). Increase of Resistance of Metal and Woodcutting Tools with Applying of Electrosparking Coating. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(2), 111–114. <https://doi.org/10.15421/40280220>

Табл. 1. Матеріали для інструментів

№ з/п	Група	Приклад марок	Прогартовуваність	Теплостійкість	Діаметр інструмента, мм	Термічне оброблення, твердість	Структура	Допустима швидкість різання, м/хв	Вид інструменту або оброблення
1	Вуглецеві	У7-У13, У7А-У13А	невелика	нетеплостійкі (150–200°C)	≤25	гартування + низький відпуск HRC60-63	мартенсит відпуску + цементит	10–15	керни, викрутки, стамески, плашки, шабери, калібри та інше
2	Леговані	Х, 11Х, 9ХС, 9ХФ, ХВГ, ХВСГ	підвищена висока	нетеплостійкі (250–260°C)	≤30 ≤35 ≤45 ≤100	гартування + низький відпуск HRC61-65	мартенсит відпуску + карбіди	20–25	свердла, зенкери, розвертки, протяжки, ножівки, пили для металу і деревини
		Х12, 7Х3	підвищена	напівтеплостійкі (350–380°C)	≤100		мартенсит відпуску + спеціальні карбіди		
3	Швидкорізальні (високолеговані)	Р6, Р9, Р18, Р6М5	висока	теплостійкі (620°C)	необмежений	гартування (1050–1080 °C) + трикратний відпуск 570 °C, HRC63-68	мартенсит відпуску + спеціальні карбіди	80	різці та інші види різального інструменту для оброблення металу і деревини
		Р6М5К5, Р9М4К8	висока	теплостійкі (640°C)					
4	Метало-керамічні тверді сплави	групи ВК: ВК2, ВК6, ВК8, ВК6М	–	(900–1000°C)	розміри необмежені	HRC87-90	WC, Co	800	оброблення чавуну, кольорових сплавів, пластмас, плит ДСП і ДВП, деревини
		групи ТК: Т5К10, Т15К10, Т15К6 та ін.				HRC90-92	TiC, Co, WC		оброблення сталей та інших в'язких матеріалів
		групи ТТК: ТТ7К12				HRC91-93	WC, TiC, TaC, Co		оброблення жароміцних сталей

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Важливою прикладною задачею підвищення стійкості різального інструменту є поверхневе зміцнення леза (різальної крайки). Широкого розповсюдження у промисловості набула технологія електроіскрового легування (ЕІЛ), завдяки переносу на зміцнювану поверхню різальної крайки будь-яких струмопровідних інструментів, високій міцності та адгезії зміцненого поверхневого шару з основою металу інструменту, локальному нанесенні електроіскрового покриття (ЕІП) без помітної деформації інструменту, відсутності нагрівання різальної частини, низької енергоємності. Важливим у використанні ЕІЛ є розроблення й освоєння нових електродних матеріалів, у разі яких застосовують переважно тверді сплави групи ТК і ВК, графіт, а в окремих випадках хром, білий чавун та ін. Відновлення розмірів інструменту здійснюють також ЕІЛ в основному електродами з матеріалу, близького за фізико-механічними властивостями до матеріалу інструменту.

Завдання цієї роботи полягало в тому, щоб перевірити ефективність використання для поверхневого зміцнення метало- і дереворізального інструменту нового комбінованого електроду для нанесення ЕІП методом ЕІЛ. У розроблених комбінованих електродах використовували відомі тверді сплави ТК, ВК, порошковий дріт ПД 80Х20Р3Т з додаванням до них компонента "К" (автори залишають за собою право не подавати дані про компонент "К" у зв'язку з підготовкою заявки на отримання охоронного документу). Діаметр електродів дорівнював 6 мм, довжина – 30 мм.

Дослідження проводили на установці для ЕІЛ "Елітрон-20" виробництва дослідного заводу ІПФ АН Молдови, яка складається з генератора і ручного вібратора, на дев'ятому режимі легування (режим ємності – 3, режим напруги – 3, ємність батареї накопичення конден-

саторів 630 мкФ, амплітуда імпульсів напруги накопичувальних конденсаторів 58 В, робочий струм 9 А, частота імпульсів 100 Гц).

Процес електроіскрового легування базується на використанні явищ, що супроводжують раптове вивільнення електричної енергії, і характеризується високою температурою каналу іскри та іонізацією міжелектродного простору. У зв'язку з тим, що при цьому процесі протікають короткі за часом імпульси електричного струму тривалістю від 10–3 до 10–5 с, відвід тепла на електродах від місця розряду до оброблюваної поверхні не забезпечується теплопровідністю металу. Тому малі об'єми поверхневих шарів металу піддаються різким перепадам температури – від температури кипіння металу в електродах до температури в декілька десятків градусів (Ivanov, 1961).

Проведено модельний експеримент процесу свердління зразків розміром 112×32×11 мм із сталі 40Х, загартованої до твердості HRC 38–40. За інструмент брали свердла марки HSS (аналог швидкорізальна легована сталь Р6М5) діаметром 8,0 мм з кутом загострення 118° швейцарської фірми IRWIN. ЕІЛ здійснювали зазначеним свердлом незміцненим, зміцненим твердими сплавами ТК і ВК, порошковим дротом ПД 80Х20Р3Т, а також порошковим дротом ПД 80Х20Р3Т з додаванням до них компоненту "К". Результати досліджень наведено в табл. 2.

Встановлено, що стійкість свердла, зміцненого порошковим дротом ПД80Х20Р3Т+"К", порівняно зі серійним незміцненим збільшилося майже у 7 разів. Заслуговує на увагу ЕІЛ свердел твердим сплавом Т15К6+"К", внаслідок чого стійкість зміцненого свердла збільшилась порівняно із серійним більш як у 3 рази (Lazarenko, 1976; Samsonov, et al., 1976).

**Табл. 2. Результати експериментальних досліджень процесу свердління**

№ з/п	Свердло	Оброблюваний матеріал	Кількість просвердлених отворів завглибшки 11 мм
1	Свердло HSS (незміцнене)	Сталь 40Х, HRC 38–40	4
2	Зміцнене сплавом Т15К6+"К"		14
3	Зміцнене сплавом ВК8+"К"		2
4	Зміцнене порошковим дротом ПД80Х20Р3Т		2
5	Зміцнене порошковим дротом ПД80Х20Р3Т+"К"		27

Проведено також поверхнєве зміцнення ЕІЛ зубців стрічкової пилки, виготовленої в "Техноліс ПП" (м. Львів) із сталі Д6А (аналог 50ХГФМА) для пиляння деревинних матеріалів, з використанням електроду Т15К6+"К". Дослідно-промислово перевірку зміцнених пилок проводили на фірмі "Агробуд" (с. Давидів Пустомитівського р-ну Львівської обл.) на пилорамі ВСГ 1000. Порівняльні дослідження з незміцненими пилками проводили під час розпилювання ясеня (напівзамороженого, поверхня крита болотом і піском, трапляється каміння). Натяг пилки становив 220 кг/см<sup>2</sup>, хід пилки – плавно регульований від 0 до 20 м/хв, швидкість руху пилки – 40 м/с. За результатами досліджень встановлено, що ресурс роботи стрічкової пилки, зміцненої ЕІЛ, становив 39 порізків. Ресурс пилки з незміцненими зубами – 19 порізів. Це свідчить про збільшення стійкості пилки у 2 рази.

**Висновок.** На підставі отриманих результатів досліджень щодо підвищення стійкості інструменту після ЕІЛ можна стверджувати, що внаслідок зміни структу-

ри поверхневого шару металу підвищується твердість металічних поверхонь, а завдяки високій іонізації міжелектродного простору – створення сприятливих умов для перебігу на металічній поверхні хімічних реакцій, які зумовлюють зміну складу поверхневих шарів металу. Під час ЕІЛ у повітряному середовищі в поверхневих шарах металу завжди є зв'язані азот і кисень. Окрім цього, під впливом електричного поля та електродинамічних сил, що виникають, об'єм металу розм'якшується і переноситься з аноду (електроду) на катод (виріб). Тому фізико-механічні властивості шару ЕІП здебільшого можуть бути близькими до властивостей матеріалу анода (Lazarenko, 1976; Samsonov, et al., 1976). Однак для пояснення механізму процесу зміцнення наведені твердження потребують детальних металографічних досліджень.

Стосовно практичних рекомендацій, можна переконливо стверджувати про можливість впровадження технології ЕІЛ за розробленими режимами у виробництво.

### Перелік використаних джерел

- Diachenko, S. S. (Ed.), Doshchechkina, I. V., Movlian, A. O., & Pleshakov, E. I. (2007). *Materialoznavstvo*. Kharkiv: KhNADU. 440 p. [in Ukrainian].
- Guliaev, A. P. (1977). *Metallovedenie*. (5th ed.). Moscow: Metallurgiya. 648 p. [in Russian].
- Ivanov, G. P. (1961). *Tekhnologiya elektroiskrovogo uprochneniya instrumentov i detalei mashin*. Moscow: Mashgiz. 302 p. [in Russian].
- Kiryk, M. D. (1999). *Instrument dlia obrobлення derevyny ta derevnykh materialiv*. Lviv: Kolomyia. 190 p. [in Ukrainian].
- Lazarenko, N. I. (1976). *Elektroiskrovoe legirovanie metallicheskikh poverkhnostei*. Moscow: Mashinostroenie. 45 p. [in Russian].
- Samsonov, G. V., et al. (1976). *Elektroiskrovoe legirovanie metallicheskikh poverkhnostei*. Kyiv: Naukova dumka. 219 p. [in Russian].

**В. М. Голубец, И. М. Гончар, Ю. С. Шуляр**

*Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина*

## ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НАНЕСЕНИЕМ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Проанализированы характеристики материалов, используемых для изготовления режущего инструмента. Установлено, что важной характеристикой для инструментальных сталей является их прокаливаемость. Но если рабочая температура в зоне контакта инструмент-деталь превышает температуру отпуска, то твердость инструмента снижается в связи с распадом мартенсита, а также укрупнением частиц карбидной фазы, и инструмент будет затупляться. Поэтому важной прикладной задачей повышения стойкости режущего инструмента является поверхностное упрочнение режущего лезвия. Проведены исследования поверхностного упрочнения металло- и дереворежущего инструмента с использованием новых комбинированных электродов для нанесения электроискрового покрытия (ЭИП) методом электроискрового легирования (ЭИЛ). В разработанных комбинированных электродах использовались известные твердые сплавы ТК, ВК, порошковая проволока ПД 80Х20Р3Т с добавлением к ним компонента "К". Проведены экспериментальные исследования процесса сверления образцов из стали 40Х закаленной до твердости HRC 38–40. В качестве инструмента принимали сверла марки HSS (аналог быстрорежущая легированная сталь Р6М5) швейцарской фирмы IRWIN. Сверление осуществлено указанными сверлами неупрочненными, упрочненными твердыми сплавами ТК и ВК, порошковой проволокой ПД 80Х20Р3Т, а также порошковой проволокой ПД 80Х20Р3Т с добавлением компонента "К". Установлено, что стойкость сверл, упрочненных порошковой проволокой ПД80Х20Р3Т+"К", по сравнению с серийными неупрочненными увеличилась почти в семь раз. Проведено также поверхностное упрочнение ЭИЛ зубцов ленточной пилы из стали Д6А (аналог 50ХГФМА) для пиления древесных материалов, с использованием электрода Т15К6+"К". Сравнительные исследования проведены при распиловке древесины ясеня. По результатам исследований установлено, что ресурс работы ленточной пилы, упрочненной ЭИЛ, увеличился в 2 раза по сравнению с неупрочненными пилами. На основании полученных результатов можно утверждать, что за счет изменения структуры поверхностного слоя металла повышается его твердость, а благодаря высокой ионизации межелектродного пространства – возникают благоприятные условия для протекания реакций, которые изменяют его химический состав. Однако для объяснения механизма процесса упрочнения приведенные утверждения требуют детальнейших металлографических исследований.

**Ключевые слова:** покрытие электроискровое; легирование электроискровое; сверло; пила ленточная; электрод; сплав твердый; проволока порошковая; стойкость; упрочнение поверхностное.

## **INCREASE OF RESISTANCE OF METAL AND WOODCUTTING TOOLS WITH APPLYING OF ELECTROSPARKING COATING**

The authors have analysed the characteristics of materials used for cutting tool manufacture. An important characteristic for tool steels is defined to be their warpability. But if the operating temperature in the contact area of the tool-part exceeds the release temperature, the hardness of the tool is reduced due to martensite collapse and the aggregation of the carbide phase particles so the tool will blunt. Therefore, an important application problem of cutting tool stability improvement is the blade surface hardening. The research was carried out on the surface hardening of the metal and woodcutting tool with the use of new combined electrodes for application of the electrospark coating (ESC) by the method of electrospark doping (ESD). In the developed composite electrodes known solid alloys TC, VK as well as powder wire PD 80X20P3T were used with addition of component "K" to them. Experimental researches of the drilling process of samples from steel 40X hardened to HRC 38–40 hardness have been carried out. Drills of HSS brand of the Swiss company IRWIN (analog of high-speed R6M5 compound steel) were used as a tool. Drilling was carried out by the specified not hardened drills as well as by the drills hardened by solid alloys TC and VK, powder wire PD 80X20P3T and powder wire PDX 80X20P3T with addition of component "K" to them. It was established that the stability of the drill hardened with powder wire PD80X20P3T+"K" in comparison with the serial unshielded drills has increased almost seven times. Case-hardening of EIL teeth of a saw blade made of D6A steel (50XGFMA analogue) was also carried out for sawing of wood materials using T15K6+"K" electrode. Comparative studies were carried out by ash wood sawing up. According to the research results it has been established that work lifetime of the band-saw strengthened with EIL has increased 2 times in comparison with the unstrengthened saws. On the basis of the results obtained, one could argue that due to change in the structure of metal surface layer its hardness increases, and due to the high ionization of the interelectrode space, favorable conditions arise for the occurrence of reactions that cause changes in its chemical composition. However, in order to explain the mechanism of the strengthening process, the above allegations require detailed metallographic studies.

**Keywords:** electrospark coating; electrospark doping; drill; band saw; electrode; solid alloy; flux-cored wire; resistance; surface hardening.