

**Кундера Ч., Антошевский Б., Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В. Марцинковский В.С. Экономические технологии изготовления элементов подшипников скольжения заданного качества**

Рассмотрен процесс синтеза рационального варианта технологии изготовления подшипника с учетом ограничений, возникающих при ее реализации. Представлена графом модель послышной структуры подшипника. Формализованы требования к качеству поверхностных слоев элементов подшипника скольжения. Приведена методика направленного выбора варианта технологического процесса изготовления подшипника скольжения с минимальной технологической себестоимостью.

**Ключевые слова:** подшипник скольжения, качество, технология изготовления, оптимизация, себестоимость, синтез.

**Кундера Ч., Антошевський Б., Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В. Марцинковський В.С. Економічні технології виготовлення елементів підшипників ковзання заданої якості**

Розглянуто процес синтезу раціонального варіанта технології виготовлення підшипника з урахуванням обмежень, що виникають при її реалізації. Представлена графом модель пошарової структури підшипника. Формалізовані вимоги до якості поверхневих шарів елементів підшипника ковзання. Наведено методіку спрямованого вибору варіанта технологічного процесу виготовлення підшипника ковзання з мінімальною технологічною собівартістю.

**Ключові слова:** підшипник ковзання, якість, технологія виготовлення, оптимізація, собівартість, синтез.

Дата надходження до редакції: 19.01.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Топілін Г.Є.

УДК 621.9.048

#### **АНАЛІЗ СТРУКТУРНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ЛЕГУВАННІ ТВЕРДИМИ ЗНОСОСТІЙКИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

**В. Б. Тарельник**, д.т.н., професор

**В. О. Герасименко**, к.ф.-м.н., доцент

**М. Ю. Думанчук**, ст. викладач

Сумський національний аграрний університет

Представлені результати досліджень впливу режимів і матеріалів легуючих електродів на структуру і твердість поверхневих шарів зразків із сталі, нікелевого сплаву і берилієвої бронзи. Сформульовані рекомендації, які дозволять підвищити надійність і довговічність відповідальних деталей при виготовленні і ремонті машин.

**Ключові слова:**якість поверхні, мікротвердість, шорсткість, товщина шару, електроерозійне легування, зміцнення, легування

**Постановка проблеми в загальному вигляді**

Більшість відповідальних деталей компресорів, насосів, газоперекачуючих апаратів і іншого промислового устаткування працюють при високих швидкостях, навантаженнях і температурах, а також в умовах абразивного, корозійного і інших видів дії робочих середовищ. Завдання підвищення довговічності і надійності цих деталей вирішуються, як правило, шляхом застосування високоміцних нержавіючих сталей і сплавів, що спричиняє велику витрату, як дорогих матеріалів, так і металорізального і штампового інструменту. Постійна нестача інструменту і дефіцитних матеріалів веде до зниження ефективності виробництва, утрудняє забезпечення необхідної якості продукції і, зрештою, ускладнює функціонування підприємства в умовах ринкових відносин.

Бурхливий розвиток техніки вимагає підви-

щення режимів роботи машин і механізмів(зростання швидкостей, тисків і т. д.), що диктує необхідність створення нових композиційних матеріалів типу «основа-покриття», які поєднують захисні властивості покриттів з механічною міцністю основи. Застосування покриттів обумовлюється ще і тим, що руйнування деталі розпочинається з поверхні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Одним з найбільш ефективних методів нанесення захисних покриттів на металеві поверхні є електроерозійне легування(ЕЕЛ). Метод ЕЕЛ був розроблений Б. Р. Лазаренко і Н. И. Лазаренко і його суть викладене в ряду робіт [1-4].

Вдосконалення технології отримання покриттів на металевих поверхнях методомЕЕЛ багато в чому пов'язано з глибшим вивченням впливу фазового складу і структури електродних матеріалів на інтенсивність перенесення матеріалу і властивості покриттів. Іскровий розряд від-

бувається в мікроскопічно малих об'ємах і триває 50-400 мікросекунд. У цьому процесі реалізується дуже висока щільність потоків енергії, що істотно впливає на ерозію і перенесення електродного матеріалу (анода) і властивості покриття, що формується на катоді. Вивчення вказаних процесів є основою для вирішення питань, пов'язаних з проблемою отримання покриттів з потрібними властивостями. Розробка електродних матеріалів проводиться в декількох напрямках: удосконалення складу і структури твердих сплавів, головним чином, на основі карбідів вольфраму і титану за рахунок використання складних металевих зв'язок, ультрадисперсних початкових порошкових сумішей, прогресивних методів їх консолідації [5,6] і розробка електродних матеріалів на основі сплавів металевих систем і матеріалів з інтерметалічним зміцненням [7,8], застосовуються також сплави систем тугоплавких з'єднань [9,10].

Разом з перевагами метод має і ряд недоліків (збільшення шорсткості поверхні, зниження втомної міцності виробів та ін.), які істотно знижують його застосування.

В процесі ЕЕЛ на поверхні анода і катода утворюється шар зміненої структури, який при дії на нього травильників, використовуваних для виявлення мікроструктури матеріалів електродів, залишається "білим", тобто структура його не виявляється. По інтенсивності дії на поверхневий шар ЕЕЛ значно відрізняється від інших процесів (тиск ударної хвилі 0,1 Па, температура  $5...40 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Висока швидкість тепловідводу призводить до того, що в межах товщини шару близько декількох мікрометрів температура швидко падає до температури плавлення і відповідних фазових перетворень. У зв'язку з цим кристалізація, фазові перетворення, дифузія і хімічна взаємодія, які супроводжують процес ЕЕЛ, призводять до утворення край нерівноважних структур з дуже дрібним зерном, високою гетерогенністю по складу, структурі і властивостям. Твердість такого шару, як правило, значно перевершує твердість матеріалів електродів. У ньому діють напруження, що перевищують внутрішні напруження в електродних матеріалах анода і катода [11].

Загальний шар ЕЕЛ має дві зони: верхній білий шар, що не труїться, уявний однорідним, і нижній перехідною шар зі змінною концентрацією дифузійного характеру [8, 4]. У більшості випадків дифузійний шар по глибині перевищує верхній білий, а глибина проникнення елементів анода в катод може складати від декількох до ста мікрометрів.

Окрім цього, спостерігають часто третю зону - зону термічного впливу [12]. Для загартованих деталей підшар може стати зоною відпустки (зоною зниженої твердості). Глибина цієї зони залежить від енергії розряду.

#### **Формулювання цілей статті (постановка**

**завдання).** Метою роботи є підвищення якості поверхневих шарів деталей машин та механізмів шляхом визначення найбільш раціональних режимів ЕЕЛ і матеріалів легуючих електродів для таких конструкційних матеріалів як сталь 45, 12X18H9T, 07X16H6, нікелевого сплаву ХН58МБЮД і берилієвої бронзи БрБ2.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Основними методиками досліджень в роботі є металографічний аналіз і вимір мікротвердості. Отримувані характеристики будови поверхневого шару дозволяють, по-перше, аналізувати механізм структуроутворення і, по-друге, визначити властивості міцності поверхневих шарів, що необхідно для розрахунку процесів подальшої ППД, впливу інших методів поверхневого зміцнення і оцінки їх експлуатаційних властивостей. ЕЕЛ проводилося із швидкістю  $1...2 \text{ см}^2/\text{хв}$ .

ЕЕЛ виконувалося для сталі 45 твердими сплавами ВК8 і Т15К6, а сталі Р6М5- синтетичним твердим інструментальним матеріалом - СТИМ-3В, розробленим Інститутом структурної макрокінетики АН СРСР.

ЕЕЛ зразків із сталі 45 твердими сплавами ВК8 і Т15К6 робилося на різних режимах установки «УИЛВ-8», при потужностях розряду, рівних відповідно: 11,5; 101; і 196 Вт. У усіх випадках відзначається стабільне підвищення мікротвердості сформованого шару, яка складає відповідно при легуванні твердим сплавом ВК8 і Т15К6 : 10000, 11000, 10000 і 11000, 12000, 1100 МПа, а в перехідній зоні відповідно: 3000, 3500, 3000 і 3500, 4200, 3500 МПа. Товщина зміцненого шару зі збільшенням потужності розряду з 11,5 Вт до 196 Вт експоненціально зростає з 8 і 10 мкм до 50 і 55 мкм, відповідно при ЕЕЛ твердим сплавом ВК8 і Т15К6.

При ЕЕЛ зразків зі швидкоріжучої сталі Р6М5 синтетичним твердим інструментальним матеріалом - СТИМ-3В максимальна мікротвердість відзначалася при потужності розряду рівною 144 Вт і складала 12500 МПа на поверхні з плавним зниженням у міру поглиблення до мікротвердості основного металу (8500 МПа). Товщина зміцненого шару, як і при легуванні сталі 45, зі збільшенням потужності розряду з 11,5 Вт до 196 Вт експоненціально зростає з 5...10 мкм до 20...25 мкм.

З метою розширення застосування ЕЕЛ досліджувалася можливість зміцнення корозійно-стійких (нержавіючих) сталей аустенітного класу типу 12X18H10T і перехідного аустенітно-мартенсітного класу типу 07X16H6.

ЕЕЛ робилося на 5-му режимі ( $J_{к.з.}=2,1\text{А}$ ;  $U_{х.х.}=68,7\text{В}$ ;  $C=300 \text{ мкФ}$ ) з використанням установки «УИЛВ - 8». В якості анода застосовувалися вольфрам і твердий сплав ВК8.

У сталі 12X18H10T відсутні фазові перетворення в процесі застигання рідкої фази, що дає

можливість простежити механізм її зміцнення тільки за рахунок термопластичної деформації, що протікає при ЕЕЛ і легування поверхневого шару елементами анода.

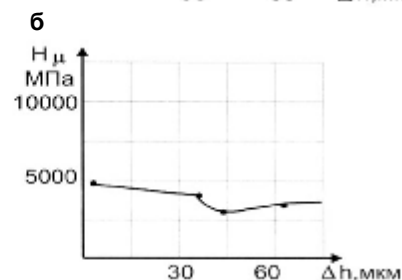
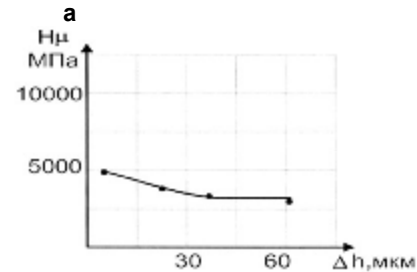
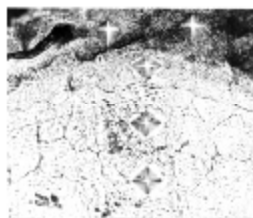
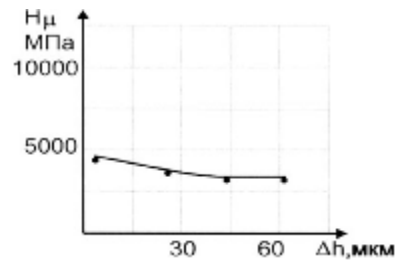
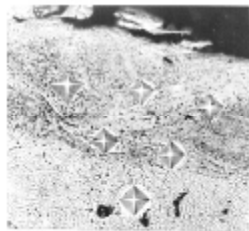
На рис. 1 представлена мікроструктура поверхневого шару сталі 12X18H10T, легованою вольфрамом(а) і твердим сплавом ВК8(б). У обох випадках(ЕЕЛ вольфрамом і твердим сплавом ВК8) мікротвердість зміцненого шару вища, ніж основного металу, і складає 4700 і 5000 МПа, з глибиною 25...60 і 15...50 мкм, суцільність 80 і 90% відповідно для вольфрамового і твёрдосплавного електроду. Перехідна зона практично відсутня. Твердість зміцненого шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу.

При зміцненні зразків із сталі 07X16H6 вольфрамом мікротвердість поверхневого шару підвищується до 4700...4800 МПа з глибиною 30...40 мкм(рис.1, в) На фотографії мікроструктури поверхневого шару чітко видимий «білий» шар і підшар, дещо іншого відтінку. Під зміцненим шаром, в підшарі, спостерігається різке зниження

мікротвердості до  $H_{\mu}=3440$  МПа (нижче твердості основного металу). Товщина знеміцненої зони складає 30...40 мкм. Суцільність шару близько 80%.

При зміцненні сталі 07X16H6 твердим сплавом ВК8 особливостей у формуванні структури шару не відзначається. Мікротвердість і суцільність зміцненого шару дещо вищий, ніж при легуванні вольфрамом, і складають відповідно до 5100 МПа і 90%. Аналогічно, під шаром підвищеної твердості відзначається присутність знеміцненої зони з глибиною залягання і мікротвердістю приблизно такий же, як і при легуванні вольфрамом.

З метою створення в поверхневих шарах імпульсних торцевих ущільнень швидкохідних турбонасосних агрегатів рідинних ракетних двигунів, необхідних триботехнічних і механічних властивостей, проводилися металографічні дослідження ЕЕЛ зразків з нікелевого сплаву ХН58МБЮД і мідного сплаву - берилієвої бронзи БрБ2 з твердістю після остаточної термообробки 400 і 370НВ відповідно.



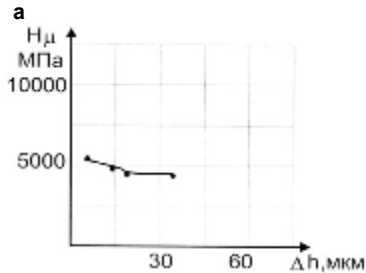
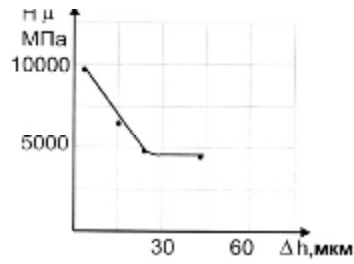
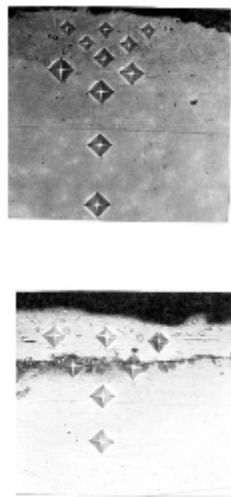
в

Рисунок 1 – Мікроструктура і розподіл мікротвердості по глибині шару при ЕЕЛ (C=300 мкФ;  $J_{к.з.}=2,1$ А;  $U_{х.х.}=68,7$ В) сталі 12X18H10T вольфрамом(а), твердим сплавом ВК8 (б) і сталі 07X16H6 вольфрамом(в),  $\times 400$ .

ЕЕЛ зразків з нікелевого і мідного сплавів проводилося на 5-му режимі( $J_{к.з.}=2,1$ А;  $U_{х.х.}=68,7$ В; C=300 мкФ) установки «УИЛВ - 8». В якості матеріалу електроду використали твердий сплав ВК8.Окрім того, для зміцнення сплаву ХН58МБЮД застосовували молібден, а для бе-

рилієвої бронзи - електрод марки 1М (70% нікель, 20% хром, 5% бор, 5% кремній), а також електрод з чистого хрому.

На рис. 2 зображена мікроструктура поверхневого шару нікелевого сплаву ХН58МБЮД, зміцненого твердим сплавом ВК8 (а) і молібденом (б).



б

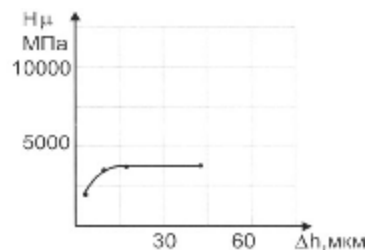
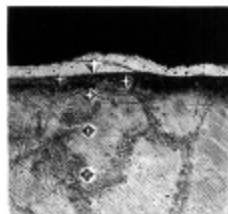
Рисунок 2 – Мікроструктура і розподіл мікротвердості по глибині шару при ЕЕЛ ( $C=300$  мкФ;  $J_{кз}=2,1A$ ;  $U_{хх}=68,7B$ ) сплаву ХН58МБЮД твердим сплавом ВК8(а) і молібденом(б),  $\times 400$ .

При зміцненні твердим сплавом ВК8 глибина зміцненого шару складає 20...25 мкм, з мікротвердістю у верхній його частині 9400...10000 МПа і нижньою 4400...5750 МПа. Тобто мікротвердість зменшується у міру поглиблення і на глибині 25...30 мкм від поверхні має твердість основного металу 3900...4000 МПа. На фотографії мікроструктури зона підвищеної твердості, в порівнянні з основним металом, має темніший відтінок. Суцільність шару складає 100%.

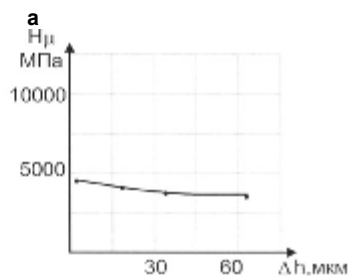
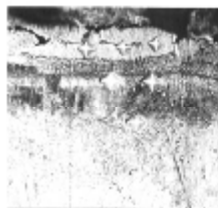
При зміцненні молібденом мікротвердість поверхневого шару, глибиною 10...15 мкм (у

окремих ділянках до 25 мкм), складає 5200...5750 МПа, перехідної зони - 4200 МПа. Суцільність шару - 80%.

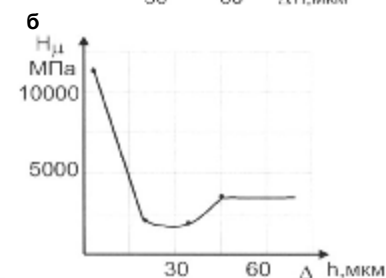
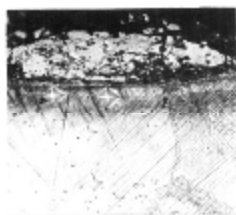
У разі ЕЕЛ берилієвої бронзи твердим сплавом ВК8 (рис. 3, а) процесу зміцнення поверхневого шару не відбувається, оскільки мікротвердість «білого» шару істотно нижча, ніж основного металу, і складає 1650 МПа. У міру поглиблення мікротвердість плавно зростає і на глибині 15...20 мкм відповідає твердості основного металу. Суцільність шару не висока ~70%.



а



б



в

Рисунок 3 – Мікроструктура і розподіл мікротвердості по глибині шару при ЕЕЛ ( $C=300$  мкФ;  $J_{кз}=2,1A$ ;  $U_{хх}=68,7B$ ) берилієвої бронзи БрБ2 твердим сплавом ВК 8(а), сплавом 1М(б) і хромом(в),  $\times 400$ .

Зниження мікротвердості поверхневого шару при ЕЕЛ твердим сплавом ВК8 (рис. 3, а) пояснюється фізикою процесу. При ЕЕЛ легкоплавких матеріалів тугоплавкими виявляється залежність, коли приріст катода(деталі) увесь період обробки залишається негативним, тобто матеріал електроду не переноситься на деталь, проте за певних умов можна підібрати матеріал електроду, який переноситиметься на катод.

Незначне підвищення мікротвердості до 4500 МПа (рис. 3, б) спостерігається при ЕЕЛ берилієвої бронзи сплавом 1М(70% хром, 20% нікель, 5% бор і 5% кремній). При цьому формується досить масивний шар з товщиною до 50 мкм і суцільністю~75%.

При легуванні берилієвої бронзи хромом (рис. 3, в) поверхневий шар не рівномірний(10...40 мкм) з мікротвердістю в окремих діля-

нках до 11020 МПа. Під шаром з підвищеною мікротвердістю розташовується перехідна зона (~25 мкм) з мікротвердістю нижче основи (2100...2500 МПа).

Таким чином, в результаті проведених досліджень отримано, що істотного підвищення мікротвердості в поверхневому шарі можна досягти при ЕЕЛ нікелевого сплаву ХН58МБЮД твердим сплавом ВК8 і берилієвої бронзи БрБ2 – хромом(відповідно 10000 і 11020МПа).Слід зазначити, що при легуванні берилієвої бронзи БрБ2 хромом під зміцненим шаром розташовується знеміцнена зона - зона зниженої твердості.

Нижче, для узагальнення отриманих результатів, в таблиці. 1 представлені звідні дані металографічних досліджень основних характеристик структури ЕЕЛ поверхневих шарів.

Таблиця 1

Результати металографічних досліджень структурного стану поверхневого шару після ЕЕЛ твердими зносостійкими матеріалами

Матеріал		Товщина, мкм мікротвердість, МПа		Характеристика шару(режим, середовище легування, особливості структури)
Основи	Електроду	Підшару	Білого шару	
Сталь 45	твердий сплав ВК8	$\frac{10}{3500}$	$\frac{20}{\text{до } 11000}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару до 100%, твердість шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу. Провали твердості відсутні.
	твердий сплав Т15К6	$\frac{15}{4200}$	$\frac{25}{\text{до } 12000}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару до 90%, твердість шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу. Провали твердості відсутні.
Сталь Р6М5	СТИМ-3В	$\frac{5}{3500}$	$\frac{15}{\text{до } 12500}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару 100%, твердість шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу.
07Х16Н6	вольфрам	$\frac{15}{3440}$	$\frac{30}{\text{до } 5000}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару~80%, в підшарі різке зниження твердості до 3440 МПа, (твердість основи 3850 МПа).
	твердий сплав ВК8	$\frac{15}{3600}$	$\frac{20}{5100}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару~80%, в підшарі різке зниження твердості.
12Х18Н10Т	вольфрам	$\frac{20}{4000}$	$\frac{30}{4700}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару~80%, твердість шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу. Провали твердості відсутні.
	твердий сплав ВК8	$\frac{20}{4000}$	$\frac{30}{5000}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару~90%, твердість шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу
ХН58МБЮД	твердий сплав ВК8	$\frac{10}{5750}$	$\frac{15}{\text{до } 10000}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару до 100%, твердість шару, плавно знижуючись, переходить в твердість основного металу.
	молібден	$\frac{5}{4200}$	$\frac{15}{\text{до } 5750}$	300 мкФ, повітря, суцільність шару до 80%, твердість шару плавно знижуючись переходить в твердість основного металу.
БрБ2	твердий сплав ВК8	$\frac{5}{3500}$	$\frac{10}{1650}$	300 мкФ, повітря, суцільність низька, мікротвердість нижче основи. У міру поглиблення мікротвердість зростає і на глибині ~10-15 мкм відповідає твердості основи - 3700 МПа
	сплав 1М	$\frac{10}{4000}$	$\frac{30}{4500}$	300 мкФ, повітря, суцільність низька, мікротвердість дещо перевищує мікротвердість основи.
	хром	$\frac{10}{2500}$	$\frac{15}{11000}$	300 мкФ, повітря, суцільність досить висока до 100%, мікротвердість перевищує 11000 МПа, в перехідній зоні провал мікротвердості.

#### Висновки

Таким чином, в результаті металографічних досліджень різних металевих підкладок після

ЕЕЛ твердими зносостійкими матеріалами встановлено, що для усіх досліджених матеріалів підкладок можливе зміцнення їх поверхневих

шарів, при цьому існують найбільш раціональні матеріали легуючих електродів, наприклад, при зміцненні нікелевого сплаву ХН58МБЮД - твердий сплав ВК8, а берилієвої бронзи БрБ2 - хром.

#### **Список використаної літератури:**

1. Михайлов В.В. К вопросу электроискрового легирования титана и его сплавов / В.В.Михайлов, К.А.Бачу, Е.А.Пасинковский, В.В.Перетяку // Электронная обработка материалов, 2006, № 3. С.106-111.
2. Верхотуров А.Д. Обобщенная модель процесса электроискрового легирования / А.Д. Верхотуров // Электрофизические и электрохимические методы обработки. – 1983. – № 1. – С. 3–6.
3. Логинов Н.Ю. К вопросу моделирования процесса электроконтактного легирования / Н.Ю.Логинов, Ю.Н.Логинов, О.Ю.Худякова // Металлообработка. – 2004. – №6. – С. 13-14.
4. Логинов Н.Ю. Упрочнение инструмента методом электроконтактного легирования / Н.Ю.Логинов, Ю.Н.Логинов // Известия ТулГУ. Сер. Инструментальные и метрологические системы. Вып.1. Труды Международной юбилейной научно-технической конференции «Наука о резании материалов в современных условиях», посвященной 90-летию со дня рождения В.Ф. Боброва, 9–11 февраля 2005 г. Часть 1. Тула: ТулГУ, 2005. — С. 93–96.
5. Wang R. J. Structural and interfacial analysis of WC92—Co8 coating deposited on titanium alloy by electrospark deposition / R.J.Wang, Y.Y.Qian, J. Liu // Appl. Surface Sci. – 2004. – т.228, № 4. – Р. 405 – 409.
6. Ткаченко Ю.Г. Структура и свойства износостойких электроискровых покрытий при использовании в качестве анода карбидтитановых твердых сплавов / Ю.Г.Ткаченко, Д.З.Юрченко, В.Ф.Бритун, Л.П.Исаева, В.Т.Варченко // Порошковая металлургия.– 2013.–№5/6.–С.86-96.
7. Гадалов В.Н. Износо- и коррозионностойкие электроискровые покрытия из эвтектических сплавов на стали 30ХГСА/ В.Н.Гадалов, Ю.В.Болдырев, Е.В. Иванова // Упрочняющ. технол. и покрытия. –2006. –№ 1. –С.22 –25.
8. Паустовский А.В. Оптимизация состава, структуры и свойств электродных материалов и электроискровых покрытий при упрочнении и восстановлении металлических поверхностей / А.В.Паустовский, Ю.Г.Ткаченко, Р.А.Алфинцева, С.Н.Кириленко, Д.З. Юрченко //Электронная обработка материалов.– 2013.– т.49, №1.– С.4-13.
9. Ковальченко М.С. Структура, механические и эрозионные свойства композиционных материалов системы AlN-MoSi<sub>2</sub> и электроискровых покрытий на их основе/ М. С. Ковальченко, Ю.Г.Ткаченко, В.Ф.Бритун, Г.А.Бовкун, Д.З.Юрченко // Порошковая металлургия. –2008. –№3/4.–С.37–46.
- 10.Подчерняева И.А. Закономерности массопереноса и адгезионное взаимодействие при электроискровом легировании сплава АЛ9 керамическими электродами AlN-Ti(Zr)B<sub>2</sub> -Ti(Zr)Si<sub>2</sub> / И.А.Подчерняева, Д.В.Юречко, А.Д.Панасюк // Порошковая металлургия. –2004. –№ 9/10. –С. 43–50.
- 11.Коробейник В.Ф. Особенности формирования микротопографии, структуры и субструктуры поверхностного слоя при электроискровом легировании / В.Ф.Коробейник, С.И.Рудюк, С.В.Коробейник // Электронная обработка материалов.- 1989.- № 1.- С. 15-17.
- 12.Коваленко В.С.Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / В.С.Коваленко, А.Д.Верхотуров, А.Д.Головки, И.А.Подчерняева // М.: Машиностроение, 1986.- 130 с.

#### **Тарельник В.Б., Герасименко В. А., Думанчук М. Ю. Анализ структурного состояния поверхностного слоя при электроэрозионной легировании твердыми износостойкими материалами**

*Представлены результаты исследований влияния режимов и материалов легирующих электродов на структуру и твердость поверхностных слоев образцов из стали, никелевого сплава и бериллиевой бронзы. Сформулированы рекомендации, которые позволят повысить надежность и долговечность ответственных деталей при изготовлении и ремонте машин.*

**Ключевые слова:** качество поверхности, микротвердость, шероховатость, толщина слоя, электроэрозионное легирование, упрочнение, легирование.

#### **Tarelnik V.B., Gerasimenko V.A., Dumanchuk M. Yu. Analysis of the structural state of the surface layer at the spark doping hard wear-resistant materials**

*The results of researches of influence of the modes and materials of alloying electrodes are presented on a structure and hardness of superficial layers of standards from steel, nickeliferous alloy and beryllium bronze. Recommendations that will allow to promote reliability and longevity of responsible details at making and repair of machines are set forth.*

**Keywords:** quality of surface, microhardness, roughness, thickness of layer, electro-erosive alloying, work-hardening, alloying.

Дата надходження до редакції: 10.02.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Ревенко І.І.