

УДК 62-783.67:66.046.51

**І. М. БОГАТЧУК**, канд. техн. наук, с.н.с., доц. ІФНТУНГ, Івано-Франківськ;  
**І. Б. ПРУНЬКО**, канд. техн. наук, доц. ІФНТУНГ

**ВІДНОВЛЕННЯ РОЗМІРНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗНОШЕНИХ  
 ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ШТОВХАЧІВ ЗИЛ-130  
 ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ НАРОЩУВАННЯМ І ЗМІЦНЕННЯМ**

Методом електроіскрового нарощування електродами з твёрдосплавних пластин Т15К6 та ВК8 обробляли робочі поверхні штовхачів зі сталі 45. Електричний розряд між оброблюваною деталлю і електродом сприяє осадженню елементів легування та відновленню поверхні. При цьому утворюється високоміцний поверхневий шар завтовшки 300 мкм, який в основному містить карбіди. Дослідження структури поверхневого шару деталей за високої роздільної здатності дозволило судити про морфологію поверхонь після оброблення.

**Ключові слова:** штовхач, обробка, електроіскрове нарощування, відновлення.

**Вступ.** Станом на сьогоднішній день в господарствах України різних форм власності перебуває в експлуатації значна кількість автомобілів ще радянського виробництва, які досить непогано зарекомендували себе з точки зору надійності та пристосованості до досить складних умов роботи. Зокрема це характерно для підприємств нафтогазового технологічного транспорту, які широко використовують спецтехніку на шасі ЗИЛ-130.

Нажаль, багато моделей уже зняті з виробництва, тому, природно, виникає питання забезпечення запасними частинами для ремонту. Виникає питання реставрації деталей в умовах ремонтних майстерень, які не завжди оснащені відповідним технологічним обладнанням та забезпечені кадрами відповідної кваліфікації.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Однією з відповідальних деталей є штовхач клапанного механізму. Штовхачі виготовляються зі сталі 45, зовнішня поверхня гартована СВЧ до твердості HRC<sub>3</sub> 35.

У процесі експлуатації відбувається активне спрацювання зовнішньої циліндричної поверхні та спрацювання торцевої поверхні даної деталі [1, 2].

У технічній літературі пропонується наступний порядок відновлення розмірних параметрів. Спочатку зношені поверхні піддають шліфуванню для видалення слідів зношування (риски, задирки та ін.). Після цього зношену поверхню відновлюють хромованням у розчині температурою 50 – 60<sup>0</sup> С, який містить 240 – 250 г/л хромового ангідриду, 2 – 3 г/л сірчаної кислоти. Щільність струму складає 100 А/дм<sup>2</sup> [1].

Можливе застосування залізнення з наступним шліфуванням та поліруванням.

Основним недоліком даних процесів є обмежена товщина нанесеного шару, а також технологічна складність попередньої обробки поверхонь деталей перед нанесенням покриття.

До недоліків даних методів обробки слід віднести також те, що вони тривалі в часі, а значить малопродуктивні та не здатні забезпечити високий коефіцієнт зчеплення нанесеного металу з основним матеріалом.

Відновлення розмірних параметрів може здійснюватись шляхом наплавлення порошку ПГ-СР4 (ГОСТ 21448 – 75) на пропані або ацетилені з наступним шліфуванням [1].

Недоліком наплавлення, як способу відновлення саме штовхача (деталі малогабаритної) є те, що здійснюється нагрів всього об'єму металу, що, в свою чергу,

© І. М. Богатчук, І. Б. Прунько, 2013

може спричинити деформацію виробу та зміну структури металу виробу з погіршенням його експлуатаційних властивостей.

Отже, пошук технології ефективного відновлення і зміцнення робочих поверхонь штовхачів залишається актуальним завданням.

**Мета досліджень.** Запропонувати спосіб відновлення і зміцнення зношених робочих поверхонь штовхачів, придатний для застосування в умовах авторемонтних майстерень. Даний спосіб повинен бути придатним як для реставрації зношених штовхачів, так і для зміцнення робочих поверхонь при виготовлення нових.

**Матеріали досліджень.** Номінальні і ремонтні розміри штовхача наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Розміри діаметру штовхачів [2]

Розмір	Збільшення діаметра штовхача	Величина розмірів	
		Номінальний або ремонтний розмір	Допустимий розмір без ремонту
Номінальний	-	$\frac{24,978}{24,992}$	24,970
1-й ремонтний	0,1	$\frac{25,078}{25,072}$	25,070
2-й ремонтний	0,2	$\frac{25,178}{25,192}$	25,170

Нециліндричність штовхача допускається не більше 0,007 мм. Знос торцевої поверхні штовхача не повинен перевищувати 0,1 мм, а знос стаканчика штовхача по діаметру не повинен перевищувати 0,004 мм.

Ми маємо справу з досить малими величинами допустимого зносу.

Для відновлення розмірних параметрів при такому зносі більш ніж придатним є метод електроіскрового нарощування і зміцнення (легування).

*Опис процесу.* Електроіскрове легування полягає у зміцненні поверхні деталі під дією електроіскрового розряду [3]. Іскровий розряд виникає між двома електродами до яких підводиться постійний струм напругою 10 - 200 В за сили струму 0,2 - 150 А. Для безперервного горіння іскрового розряду електроди зближали на віддаль, необхідну для збудження іскри, використовуючи для цього високочастотний вібратор.

Для зміцнення звикло користуються електродами, виготовленими з графіту, ферохрому, алюмінію, білого чавуну, твердого сплаву Т15К6 і феробору або ж з інших струмопровідних матеріалів, щоб забезпечити отримання зміцненої поверхні з наперед заданими властивостями.

*Використане обладнання.* Для відновлення поверхні штовхача використали промислове устаткування “Элитрон – 24А” для електроіскрового легування [4] (див. рис. 1), яке за продуктивності 0,3...10 см<sup>2</sup>/хв дає змогу отримати зміцнений шар товщиною 0,25...2 мм. Установку оснащено трьома блоками накопичення електричної енергії, що дало змогу реалізовувати різні режими електроіскрового оброблення. Її живили від мережі змінного струму частотою 50 Гц за напруги 220 В±10 %. Установка споживала 0,6 кВт.

Середньоарифметичне відхилення профілю не перевищувало 20 мкм, що забезпечило високу якість оброблюваної поверхні (5 – 6 класу). Параметри використаного режиму визначали інтенсивність зміцнення і якість нарощеної поверхні.

Підвищенням потужності інтенсифікували кожен окремий розряд і, як наслідок, – перенесення частинок з електрода на поверхню деталі.

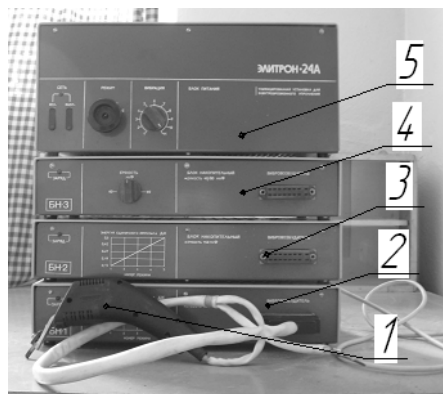


Рисунок 1 – Загальний вигляд устаткування «Элитрон – 24А»: 1 – збудник вібрації, 2-4 – накопичувальні блоки, 5 – блок живлення

Для одержання рівномірного покритву на штовхачі, його закріплювали в кулачках, а вібратор – на супорті токарно-гвинторізного верстату 16К20. Для забезпечення високої продуктивності нанесення покритву користувалися наступними режимами роботи верстата: частота обертання шпинделя  $n = 0,75 \text{ c}^{-1}$ , подача  $s = 0,455 \text{ мм/об}$ .

За електроди для електроіскрового нарощування і зміцнення штовхача, виготовленого зі сталі 45, використали твердосплавні пластинки Т15К6 та ВК8. Поверхню штовхача нарощували в 4 проходи з використанням різної потужності розряду.

Після нанесення поверхневого шару зі зміцнених штоків вирізали заготовки і виготовляли з них шліфи згідно [5]. Для травлення структури використали 3%-ний спиртовий розчин  $\text{HNO}_3$ . Металографічний аналіз шліфів провели на оптичному мікроскопі Neofot 21. Мікротвердість (за ваги 20 гр) заміряли в 10...15 точках і визначали середнє значення. Поглиблені металографічні дослідження проводилися з використанням електронному мікроскопі EVO-40 XVP (Carl Zeiss) з системою мікроаналізу EVO-4XVP.

Крім того нами замірялася шорсткість поверхонь штовхача, оброблених електроіскровим нарощуванням з використанням приладу «Zutronik».

Параметри режимів нарощування наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри режимів і матеріали для нарощування поверхні штовхача та мікротвердість обробленого шару.

Режим	Матеріал електроду	Ємність блоку накопичення, мкФ	Амплітуда імпульсів напруги, В	Частота вібрації інструменту, Гц	Енергія одиничного імпульсу, Дж
T1	Т15К6	60±8	75±15	390±70	0,22
T2		150±15	75±16	250±50	0,42
T3		300±30	71±15	125±25	0,75
B1	ВК8	60±8	75±15	390±70	0,22
B2		150±15	75±16	250±50	0,42
B3		300±30	71±15	125±25	0,75

**Результати досліджень.** Типова структура нарощеного на поверхню штовхача шару, отримана за використання як анод твердих сплавів ВК8 та Т15К6, показана на рис. 3. За реалізації перелічених у табл. 2 режимів товщина нарощеного шару на поверхні штока (світла смужка на рис. 2) становила 300 мкм. Цей шар практично не підлягає травленню, що свідчить про значну концентрацію в ньому елементів легування.

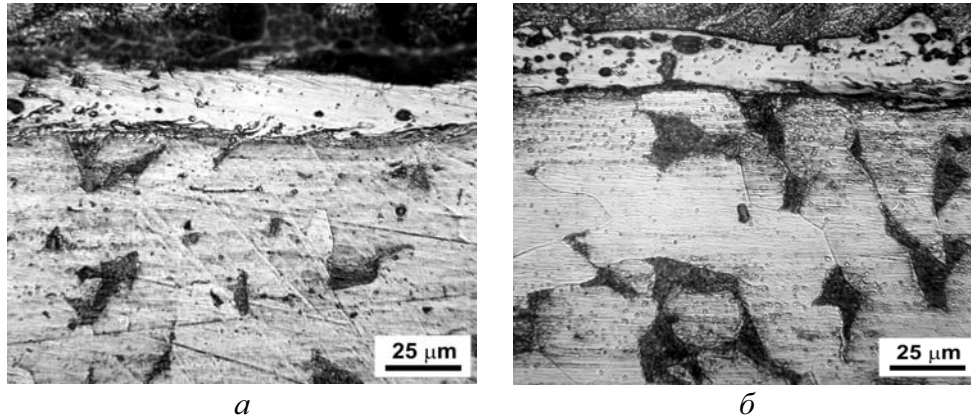


Рисунок 2 – Типові мікроструктури зміцненого поверхневого шару штовхача зі сталі 45, отримані за використання як анод: а – твердих сплавів ВК8; б – Т15К6

Мікротвердість отриманого шару змінювалася в залежності від використаного режиму оброблення від 10 до 22 ГПа (див. рис. 3). Максимальну мікротвердість (~21,5 ГПа) зафіксували за реалізації режиму Т2 з використанням електрода з твердого сплаву Т15К6. Мікротвердість нарощеного шару за використання цього ж електрода, але за іншими режимами нанесення не перевищує 11 ГПа. Середня мікротвердість нарощеного шару за використання для оброблення електрода ВК8 не виходить за межі 11...14 ГПа. Мікротвердість найвища за використання режиму В3 (див. рис. 3).

Мікротвердість основного металу (сталь 45) безпосередньо під наплавленим шаром становила 1600...1900 МПа, що характерно для фериту як складової сталей з ферит-перлітною структурою [6].

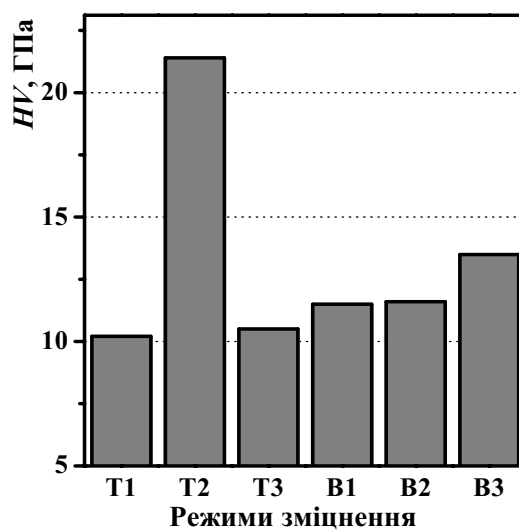


Рисунок 3 – Зміна мікротвердості *HV* залежно від використаних режимів оброблення

Завдяки особливості формування зображення в електронному мікроскопі під час досліджень структури поверхневого шару сталі 45 після електроіскрового нарощування і зміцнення була змога судити не лише про структуру цього шару у поперечному перерізі, але і про топографію рельєфу обробленої поверхні. Поверхня зміцненого шару за використання твёрдосплавних пластинок Т15К6 нагадує місячний рельєф, глибина і діаметр кратерів на якому залежить від режиму оброблення. Рельєф з найменшими перепадами по глибині кратерів зафіксовано після режиму Т1, а з найбільшими – після Т3. На дні чорних виразок, які найхарактерніші для режиму Т3, часто спостерігали досить великі включення оксидів. Крім того на зовнішній поверхні деталей після всіх режимів оброблення спостерігали мікротріщини, які поширювалися на всю товщину обробленого шару (див. рис. 4). Характерно, що практично всі вони орієнтовані під кутом  $\sim 45^\circ$  стосовно оброблюваної поверхні, що може бути наслідком зсувових процесів. Їх могли спричинити залишкові напруження в зміцненому шарі, які релаксують шляхом утворення мікротріщин.

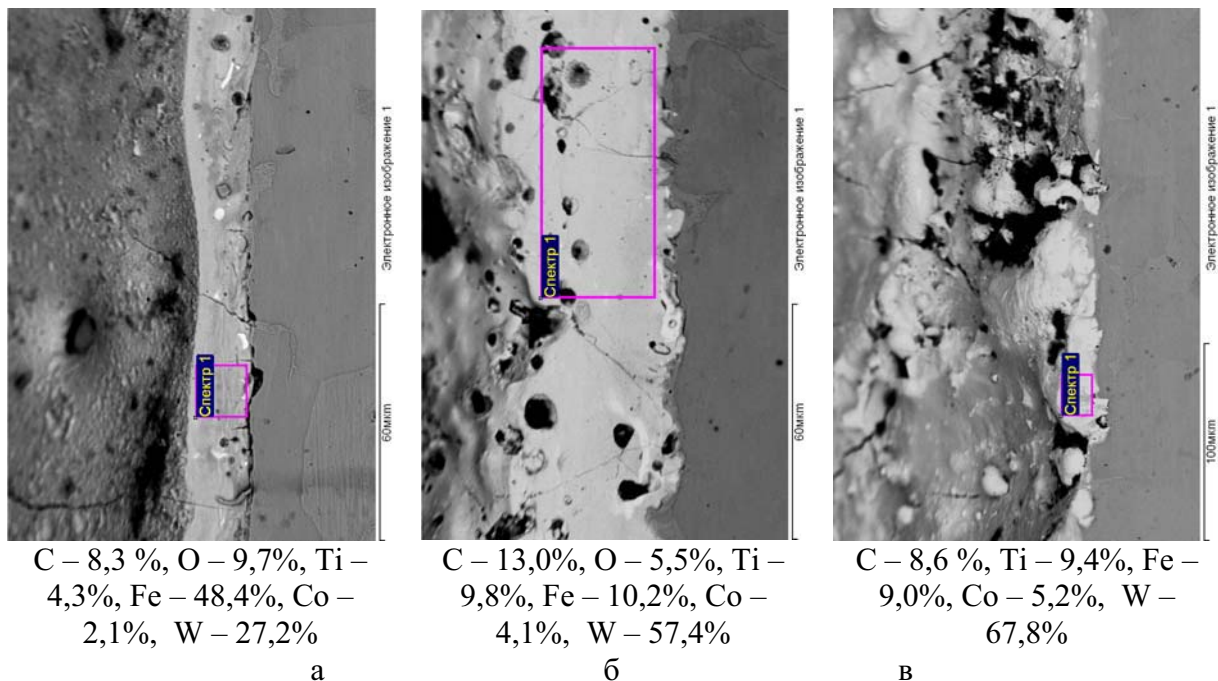


Рисунок 4 – Характерна структура та склад (за результатами мікроаналізу) поверхневого шару сталі 45 після електроіскрового нарощування і зміцнення з використанням твёрдосплавних пластинок Т15К6 за режиму: а – Т1, б – Т2, в – Т3

Аналіз елементного складу поверхневих шарів, зміцнених твёрдосплавними пластинками Т15К6, свідчить, що найвищий інтегральний (в межах виділених на рис. 4 площ) вміст вольфраму та кобальту є після застосування режиму Т3, середній – Т2 і найнижчий – Т1. Вміст титану практично однаковий після режимів Т2 і Т3, але вдвічі нижчий після Т1. Отже після використання режиму Т1 в поверхневому шарі виявлено практично вдвічі менше W та Ti, ніж після режимів Т2 і Т3. Разом з тим саме ці елементи утворюють карбіди чим забезпечують твердість поверхневого шару. Карбідтвірні елементи (W, Ti) розташовані по зростаючій за мірою спорідненості до вуглецю і стійкістю карбідів. Сильні карбідтвірні елементи Ti та W утворюють самостійні карбіди TiC, WC, W<sub>2</sub>C. Кобальт, як і в твёрдосплаві, виконує роль зв'язки для карбідів як високоміцних наповнювачів. Це підтверджує також його достатньо

рівномірний розподіл по товщині зміцненого шару (див. рис. 4, б). Піки на розподілі Fe відповідають мінімумам на розподілах Ti і W (див. рис. 4, а), що свідчить про нерівномірність їх розподілу. Високий вміст Fe в поверхневому шарі після оброблення за режимом T1 пояснює його найнижчу мікротвердість (див. рис. 3). Крім того мікротвердість поверхні після режиму T3 з максимальним вмістом W, Ti та Co не є найвищою. Можливо, це є наслідок недостатньої кількості вуглецю у обробленому шарі після застосування режиму T3. Адже після режиму T2, коли досягнули максимальної мікротвердості поверхневого шару, вміст вуглецю є відчутно вищим.

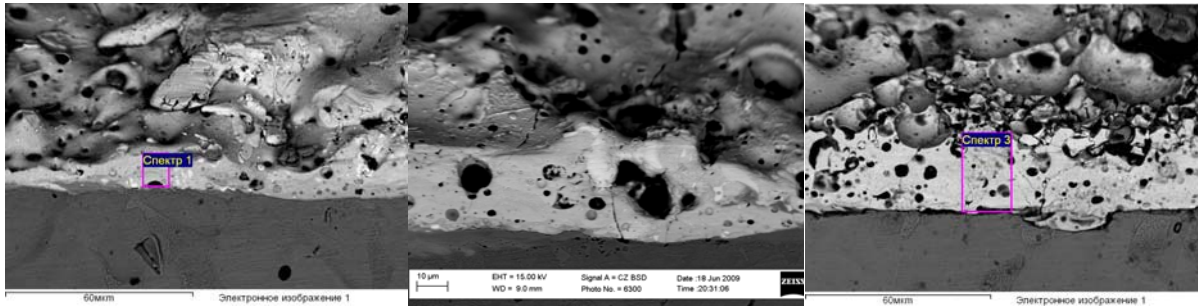
За високої роздільної здатності в структурі поверхневого шару після режиму T2 спостерігали евтектику TiC-WC з карбідами завбільшки 0,05...0,1 мкм (див. рис. 4, б). Саме вони забезпечили найвищу мікротвердість поверхневого шару після оброблення за режимом T2, оскільки такої евтектики не спостерігали в структурі поверхневих шарів, оброблених за режимами T1 і T3.

Візуально мікроструктура поверхневого шару сталі 45 після електроіскрового нарощування і зміцнення з використанням твердого сплаву BK8 практично не відрізняється від отриманої за використання сплаву T15K6. Разом з тим за мікротвердістю поверхневого шару вони відрізняються, причому досить суттєво (див. рис. 3) [7].

Максимальну мікротвердість після електроіскрового оброблення сплавом BK8 зафіксували за використання режиму B3 (13,5 ГПа). Мікроструктура цього шару подібна до отриманої з використанням сплаву T15K6 за режиму T2, який також має максимальну мікротвердість 21,4 ГПа. В обох випадках у площинах косих шліфів виявлено значну кількість різних за величиною округлих чорних ямок на дні яких проглядаються частки (див. рис. 4), що можуть бути оксидами. Величина і кількість цих структурних елементів залежить від використаного режиму оброблення. Найменшу їх кількість зафіксовано після використання режиму B1, а найбільші за розмірами – B2. За використання режиму B3 спостерігали високу густину дрібних оксидів, що узгоджується з високим інтегральним вмістом кисню в поверхневому шарі.

Аналіз елементного складу поверхневих шарів, зміцнених твердосплавними пластинками BK8 свідчить, що вміст в них вольфраму (інтегральний в межах виділених на рис. 5 площ) практично не залежить від режиму оброблення. Кобальт взагалі не ідентифікували після використання режиму B1, де найвищий вміст заліза, що і зумовило найнижчу мікротвердість. Враховуючи те, що вміст вуглецю в поверхневому шарі після оброблення за режимом B3 вищий, ніж після оброблення за режимом B1, то вищу мікротвердість його поверхневого шару можна зв'язати з більшим вмістом карбідів вольфраму.

За використання режиму B3 формування нарощеного шару відбувається з мінімальною взаємодією (перемішуванням) розплаву нарощеного сплаву зі сталлю 45 (підложка), оскільки частота вібрації інструменту у цьому випадку мінімальна (табл. 1). Це зумовлює максимальний вміст у нарощеному шарі карбідів WC і, як наслідок, забезпечує максимальну (з отриманих для електроду сплаву BK8) мікротвердість.



С – 11,1 %, О – 2,3%, Fe –  
31,1%, W – 55,5%.

а

С – 12,1 %, О – 3,3%, Fe –  
25,0%, W – 56,5%.

б

С – 16,8 %, О – 6,6%, Fe –  
17,9%, W – 54,5%.

в

Рисунок 5 – Характерна структура та склад (за результатами мікроаналізу) поверхневого шару сталі 45 після електроіскрового нарощування і зміцнення з використанням твердосплавних пластинок ВК8 за режиму: а – В1, б – В2, в – В3

**Висновки.** На основі проведених досліджень структури нарощених шарів, отриманих за використання різних режимів електроіскрового оброблення, виявлено, що за використання електродів Т15К6 та ВК8 максимальна товщина шарів становила 300 мкм, їх мікротвердість 21,4 та 13,5 ГПа, одержали їх за енергії одиничного імпульсу 0,42 та 0,75 Дж та частоти вібрації інструменту  $250 \pm 50$  та  $125 \pm 25$  Гц відповідно. Саме ці режими обробки можна рекомендувати для відновлення зношених робочих поверхонь штовхачів двигунів ЗИЛ-130.

Електроіскрова обробка не спричиняє нагріву значних об'ємів металу основної деталі, тому не виникають її деформації та зміна структури основного металу.

Таким чином можна зробити висновок, що електроіскрове нарощування та зміцнення може бути придатним не тільки для реставрації зношених поверхонь штовхачів, але і при виготовленні нових, як альтернативний засіб поверхневого зміцнення робочих поверхонь.

Товщина нанесеного шару дозволяє забезпечити необхідну величину припусків, для подальшої механічної обробки робочих поверхонь штовхачів (шліфування, полірування).

Враховуючи також простоту використовуваних для електроіскрової обробки обладнання, цей спосіб реставрації може бути рекомендований для застосування в авторемонтних майстернях.

**Список літератури:** 1. Ремонт дизельних двигунів: [справочник] / [Срмолов Л.С., Науменко О.А., Сидашко О.І., Шержуков І.Г.]. – К.: Урожай, – 1991. – 248 с. 2. Автомобили ЗИЛ. Техническое обслуживание и ремонт ЗИЛ-157К, ЗИЛ-130, ЗИЛ-131. Часть 1. [Зарубин А.Г., Зубарев А.А., Семенов П.Л., Хмелин Б.Ф.]. – М.: Транспорт, – 1971. – 367 с. 3. *Верхотуров А.Д.* Технология электроискрового легирования / А.Д.

*Верхотуров, И.М. Муха.* – К.: Техника, 1982. – 181 с. 2. 4. Установка “Элитрон -24А”: Паспорт. – Кишинев: Академия наук МССР, 1989. – 21с. 5. *Черток Б.Е.* Лабораторные работы по технологии металлов / *Б.Е. Черток.* – М.: Машгиз, 1961 – 183 с. 6. *І. Прунько* Відновлення зношених поверхонь штоків нафтопромислових насосів електроіскровим нарощуванням і зміцненням / *Прунько І., Богатчук Ю., Марков А.* // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій / [Під заг. ред. В.В. Панасюка]. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, 2009. – С. 569 – 574. 7. *І.Б. Прунько* Структура і залишкові напруження в поверхневому шарі сталі 45 після електроіскрового оброблення електродами зі сплавів Т15К6 та ВК8 / *І.Б. Прунько, Ю.І. Богатчук, М.М. Студент* // Наукові нотатки. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2009. – С.255 – 260.

*Надійшла до редколегії 05.04.2013*

УДК 62-783.67:66.046.51

**Відновлення розмірних параметрів зношених зовнішніх поверхонь штовхачів ЗИЛ-130 електроіскровим нарощуванням і зміцненням / І. М. Богатчук, І. Б. Прунько // Вісник НТУ «ХП».** Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 34–41. – Бібліогр.: 6 назв.

Методом электроіскрового наращивания электродами из твердосплавных пластин Т15К6 и ВК8 обрабатывали рабочие поверхности толкателей из стали 45. Электрический разряд между обрабатываемой деталью и электродом способствует осаждению элементов легирования и восстановлению поверхности. При этом образуется высокопрочный поверхностных слой толщиной 300 мкм, который в основном содержит карбиды. Исследование структуры поверхностного слоя деталей при высокой разрешенности позволило судить о морфологии поверхностей после обработки.

**Ключевые слова:** толкатель, обработка, электроіскровое наращивания, восстановления.

The method of electric-capacity electrodes of tungsten carbide plates and T15K6 BK8 treated surfaces of steel pushers 45. Electrical discharge between the electrode and the workpiece machined facilitate the extraction and recovery of alloying elements surface. It formed ductile surface layer, 10 ... 35 mm, which mainly contains carbides. Investigation of the structure of the surface layer of details of the high resolution allowed to judge the surface morphology after treatment.

**Keywords:** plunger, machining, spark build-up recovery.