

УДК 621.979

**Ю. П. БОРОДИЙ**, канд.техн.наук, доц., НТУУ «Київський політехнічний інститут»

## **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ДЕТАЛІ ТИПУ ВАЛУ**

Стаття присвячена розробці технологій поверхневого зміцнення деталей машин типу валів шляхом створення комбінованих багатошарових зносостійких покриттів з заданими властивостями. Отримані результати представляють практичний інтерес для технологічних розробок, що забезпечують формування покриттів з необхідними експлуатаційними властивостями для різних умов роботи деталей машин, а також інформацію про можливість зміни властивостей покриттів. Нанесення електроіскрових покриттів збільшує експлуатаційну стійкість деталей машин в 3-6 разів.

**Ключові слова:** поверхнєве зміцнення, деталі машин, електроіскрове легування, поверхнєве пластичне деформування, зносостійкі покриття.

**Вступ.** Підвищення ефективності використання сучасної техніки в різних галузях промисловості можна досягнути продовженням її експлуатаційного ресурсу шляхом поверхневого зміцнення робочих поверхонь, а також її швидкий і якісний ремонт та відновлення деталей. Значний інтерес для практики становить метод електроіскрового легування (ЕІЛ), який відноситься до групи електрофізичних методів поверхневого зміцнення деталей машин. Основні переваги методу полягають в можливості переносу на поверхню, що обробляється, матеріалів високої твердості (твердих сплавів), в високій міцності зчеплення зміцненого прошарку з основою, нанесенні покриття без помітної деформації деталей. Значного ефекту можна досягти, використовуючи технології комбінованого зміцнення деталей машин з поєднанням ЕІЛ та поверхневого пластичного деформування (ППД). За допомогою комбінованого зміцнення з'являється можливість створення багатошарових зносостійких покриттів на робочих поверхнях деталей машин. При цьому вдається в значній мірі подолати недоліки кожного методу зміцнення, а також керувати властивостями покриття.

**Метою статті** є розробка технологій поверхневого зміцнення деталей машин типу валів шляхом створення комбінованих багатошарових зносостійких покриттів з заданими властивостями.

**Основний матеріал та результати.** В процесі виконання роботи були досліджені методи нанесення монопокриттів:

1. Електроіскрове легування (ЕІЛ).

2. Поверхнєве пластичне деформування (ППД) – обкатування роликом або кулею.

Окрім того, досліджувались комбіновані методи поверхневого зміцнення:

1. Електрофізичні методи та поверхнєве пластичне деформування:

- ППД+ЕІЛ твердосплавним електродом + ППД; ППД+ЕІЛ+ППД+ЕІЛ міддю.

- Багатократне нанесення покриття ЕІЛ+ППД+ЕІЛ+ППД (до 4 проходів) [1].

2. Поєднання різних видів електроіскрового легування:

- ЕІЛ графітовим електродом, наступне ЕІЛ твердосплавним електродом, ЕІЛ графітовим електродом та ЕІЛ мідним електродом;

- Нанесення покриття в декілька прошарків шляхом проведення ЕІЛ різними режимами;

- Періодична обробка ЕІЛ в процесі зношування ріжучих кромek при роботі штампу.

Для лабораторної оцінки ефективності зміцнення використовували дослідження на машині тертя М-22М за схемою «вал-вкладиш» із охолодженням зразка водою (рис. 1).

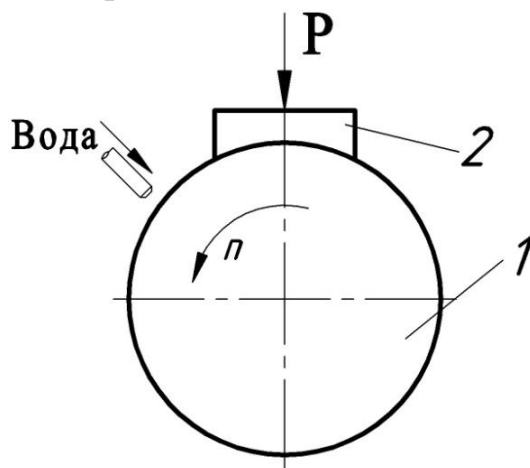


Рис. 1 – Схема випробувань на машині тертя М-22М: 1 – кільцевий зразок-вал; 2 – зразок-вкладиш. Р – сила притискання зразків, n – частота обертів зразка-валу

Дослідження показали збільшення зносостійкості відпаленої сталі У7 (HV 220-240) з комбінованим покриттям після пробігу 25 км – в 4 рази, при пробігу 50 км – в 2,5 рази (рис. 2), а загартованої сталі 45 (HV 337 та HV 420) з комбінованим покриттям після пробігу 22 км в 5 разів (рис. 3). Це свідчить, що

на стадії припрацювання зносостійкість покриття значно вища, ніж на усталеній стадії.

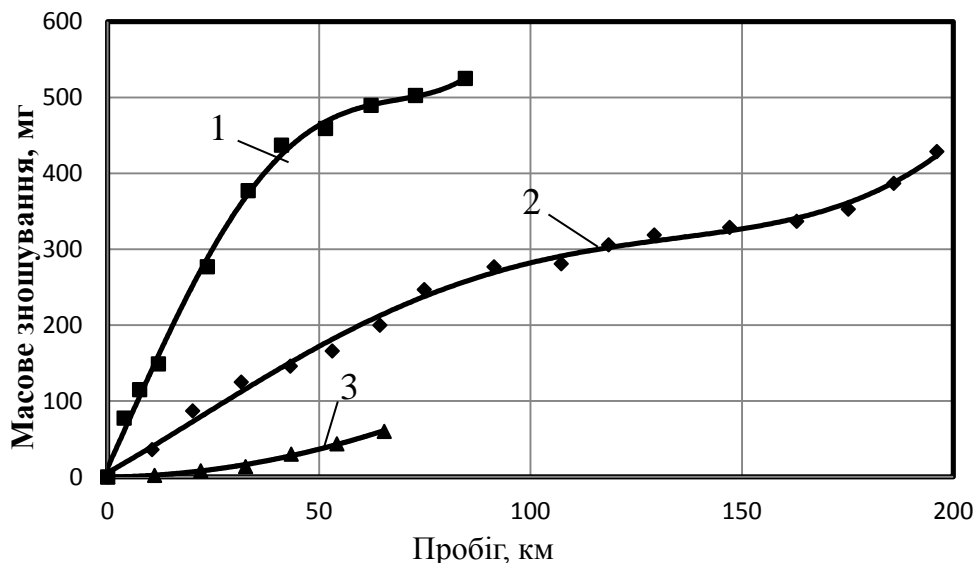


Рис. 2 – Залежність масового зношування зразків зі сталі У7 (HV 220...240) після комбінованої обробки (обкочування кулькою з зусиллям 1,6 кН, ЕІЛ та знову обкочування кулькою) від пробігу: 1 – зразок без обробки (P=400 Н); 2 – зразок після обробки (P=400 Н); 3 – зразок після обробки (P=300 Н).

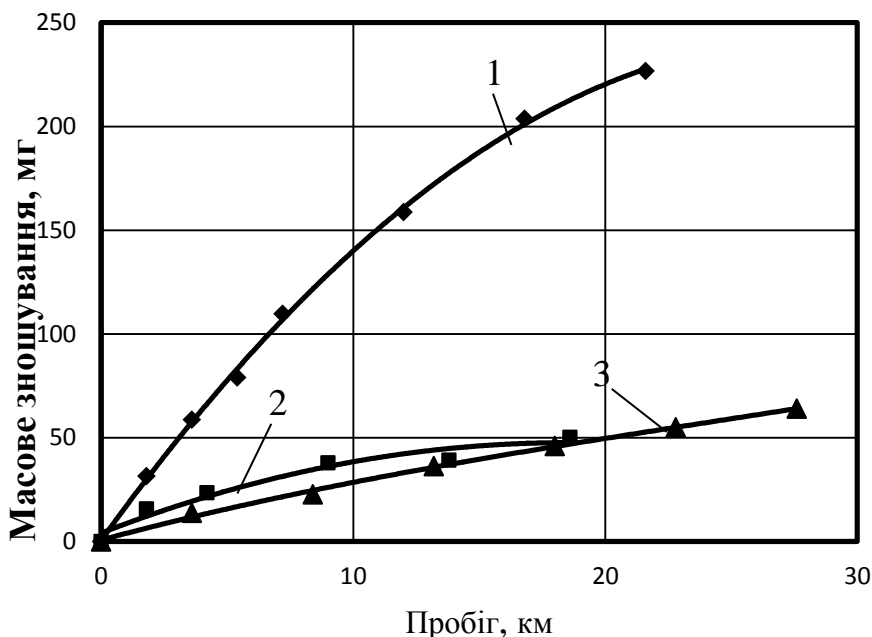


Рис. 3 – Залежність масового зношування зразків із сталі 45 після комбінованої обробки: 1 – зразок (HV 337) без обробки після випробувань при P=500 Н; 2 – зразок (HV 337) після обробки та випробувань при P=500 Н; 3 – зразок (HV 420) після обробки (P=500 Н)

Вплив комбінованого зміцнення, яке включає ЕІЛ та обкатування, на зносостійкість кільцевих зразків із сталі 45 приведені у вигляді графічних залежностей (рис. 4), що дозволяє порівняти їх ефективність.

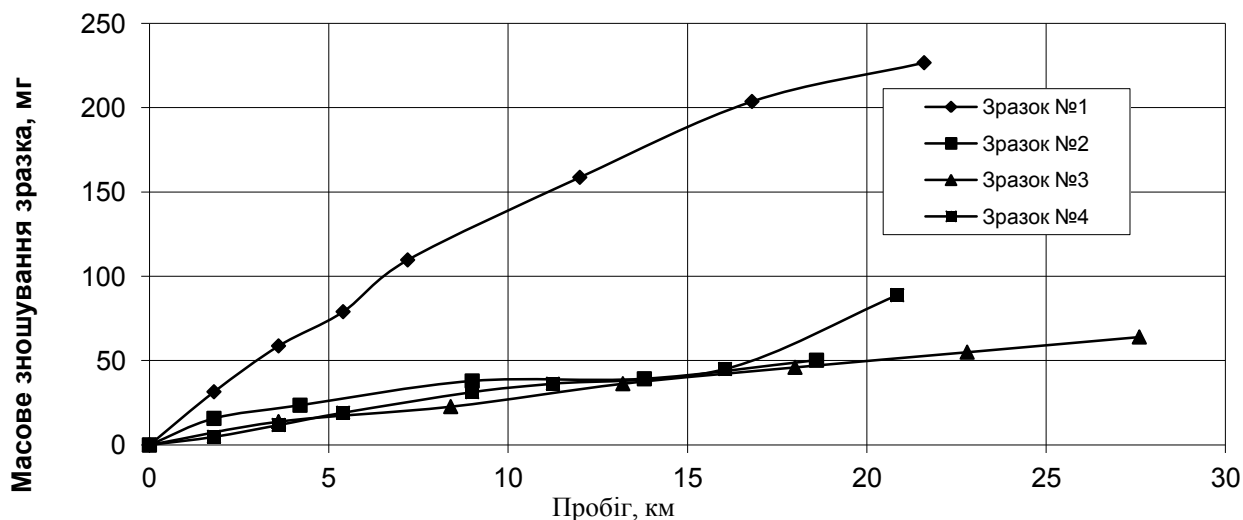


Рис. 4 – Дослідження впливу комбінованого зміцнення (ЕІЛ та обкатування) на зносостійкість кільцевих зразків із сталі 45: Зразок №1 – HV 420; обкатування роликом (1,6 кН, 4 переходи) Зразок №2 – HV417; обкатування роликом (2,4 кН, 4 переходи) + обробка ЕІЛ механізоване (струм 5-6 А, 63 об/хв) + обкатування кулею (1,6 кН, 4 переходи) Зразок №3 – HV 420; обкатування роликом (1,6 кН, 4 переходи) + обробка ЕІЛ механізоване (струм 7-8 А, 63 об/хв) + обкатування кулею (1,6 кН, 4 переходи) Зразок №4 – HV 400; обкатування роликом (2,4 кН, 4 переходи) + обробка ЕІЛ механізоване + обкатування роликом (1,6 кН, 4 переходи)

На основі проведених досліджень був зроблений висновок, що зміцнення поверхні комбінованим покриттям за схемою ППД→ЕІЛ→ППД→ЕІЛ→ППД [1] дозволяє створити багат шарову структуру, підвищити твердість робочих поверхонь в 2 – 2,5 рази та зносостійкість поверхонь в 1,5-5 разів. При нанесенні комбінованого зносостійкого покриття за схемою ППД→ЕІЛ→ППД→ЕІЛ→ППД [1] виникають загартовані ділянки із багат шарової структури із загартованих та декілька разів перегагартованих об'ємів, в яких підвищений склад карбідів вольфраму та лінз.

В результаті була розроблена технологія підвищення зносостійкості деталей машин типу валів, гребенів колісних пар локомотивів, валів цементних фасувальних машин, яка включає попереднє поверхневе пластичне деформування кулькою за допомогою пристрою, який встановлюється в різцетримач токарно-гвинторізного верстату, механізоване ЕІЛ твердим сплавом за допомогою спеціальної головки, теж розташованої в різцетримачі. Режим обробки обкочуванням повинен бути оптимальним. В першу чергу це відноситься до зусилля обкочування (тиску кульки на деталь), подачі та кількості проходів. Визначення режимів обкочування ускладнюється тим, що залежність між ним та ступенем зміцнення та шорсткістю нелінійна. Деяка оптимізація по зусиллю для кульки 10 мм проведена в роботі [2]. Встановлено,

що оптимальним для пластичних сталей є навантаження 200...350 кг. Збільшення тиску на поверхню приводить до порушення цілісності металу на поверхні та виникненню лущення поверхні. Твердість деталей при обкочуванні не повинна перевищувати 50 HRC.

По запропонованій технології формується зміцнений поверхневий шар, твердість якого на поверхні досягає 1200 HV. Його припрацювання супроводжується полірувальним ефектом.

Роль твердих часток, які знаходяться на робочій поверхні деталі або на поверхні ріжучої кромки штампу, не вичерпується їх високою зносостійкістю. Можна припустити, що вони блокують пластичну течію металу із зони контакту, де створюється високий тиск. Важливе значення має міцність з'єднання твердих часток з основним матеріалом. Матеріал деталі та тверді частки повинні працювати як єдине ціле, що можливо забезпечити комбінованими методами нанесення зносостійких покриттів. При ЕІЛ поверхні деталі твердим сплавом утворені структурні елементи, їх кількість та характер розташування залежить також від початкового структурного стану поверхневого шару, точніше від енергетичного стану атомів на поверхні. Він може бути змінений методами поверхневого пластичного деформування. Густина дислокацій, наприклад в сталі 45 після обкочування кулькою, збільшується на порядки. Якщо розглянути простір біля дислокації як простір з атомами підвищеної активності, то число зон підвищеної активності на поверхні збільшується в тисячі разів, що значно збільшує дифузійні процеси. По мірі збільшення пластичної деформації в металі відбувається створення блоків та їх розворот [3]. При дії електричного розряду в металі протікають процеси, які пов'язані з високошвидкісним нагрівом локальних зон до температур фазових перетворень, а можливо і до температур плавлення, з наступною кристалізацією та загартуванням. Відбувається дифузія елементів електроду в поверхневий шар деталі. В поверхневих шарах виникають структури у вигляді лінз, які залишаються білими після травлення [4].

Для механізованої обробки деталей типу тіл обертання розроблена технологія нанесення комбінованих зносостійких покриттів. В загальному вигляді така технологія включає наступні етапи [1]:

- підготовка деталей, що включає механічну обробку до кінцевих розмірів або до розмірів з припуском під шліфування;
- підготовка установки ЕІЛ-2 до роботи, що включає підбір оптимальних струмів, електродів та їх матеріалів;

- підготовка установки для ППД, що включає підбір оптимального зусилля;
- нанесення покриття проводиться пошарово:

ППД→ЕІЛ→ППД→ЕІЛ→ППД

- робочий режим легування з контролем параметрів процесу та контролем сили притискання електроду;
- контрольні обміри деталі для визначення товщини отриманого покриття;
- остаточне шліфування деталі до отримання розмірів, потрібних по кресленням.

Розроблена технологія здійснюється за допомогою спеціально розробленого устаткування (рис. 5-8).

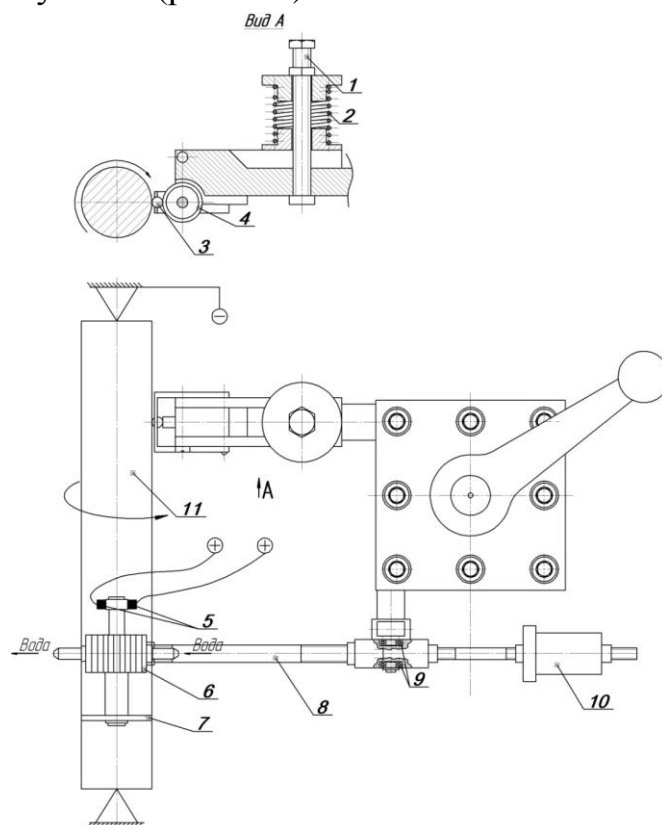


Рис. 5 – Схема установки для формування комбінованого зносостійкого покриття на валах:  
1 – регулювальний гвинт; 2 – пружина; 3 – кулька; 4 – підшипник; 5 – графітові щітки; 6 – радіатор; 7 – електрод; 8 – штанга; 9 – підшипники; 10 – протизавага; 11 – деталь, що оброблюється (вал)

На рис. 5 представлена схема комплексу пристроїв для формування комбінованого зносостійкого покриття на деталях типу вал, тобто на тілах, що мають поверхню обертання. Основні складові частини цього комплексу

(пристрій для обкочування кулькою та пристрій для механізованого нанесення ЕІЛ з обертанням електроду) встановлюються в різцетримач токарного верстату.

На рис. 6 зображена тривимірна модель-схема комплексу пристроїв для формування комбінованого зносостійкого покриття на деталях типу вал.

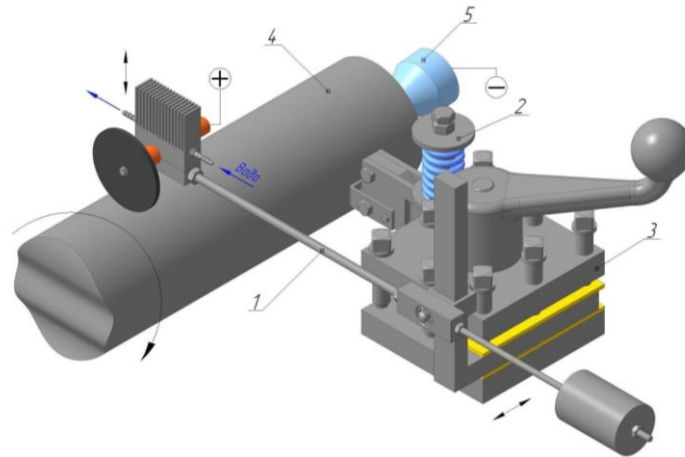


Рис. 6 – Тривимірна модель-схема установки для формування комбінованого зносостійкого покриття на деталях типу вал: 1 – пристрій для ЕІЛ; 2 – пристрій для обкочування; 3 – супорт токарно-гвинторізного верстату; 4 – оброблювана деталь; 5 – центр з електричним контактом

На рис. 7 та рис. 8 представлені тривимірні модель-схеми складових частин цього комплексу, а саме, пристрою для обкочування кулькою  $\varnothing 10$  мм, а також пристрою для механізованого нанесення ЕІЛ з обертанням електроду.

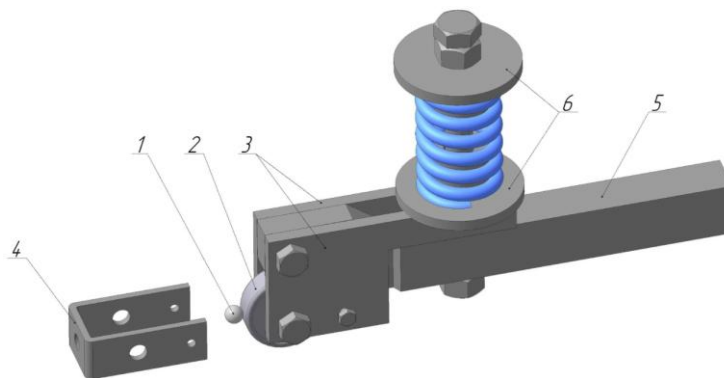


Рис. 7 – Тривимірна модель-схема пристрою для обкочування кулькою  $\varnothing 10$  мм: 1 – кулька; 2 – підшипник; 3 – важелі; 4 – тримач; 5 – корпус; 6 – шайби

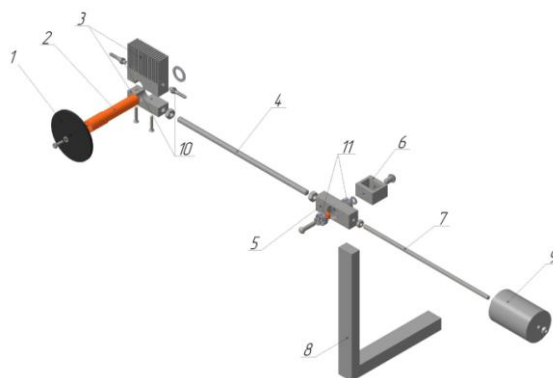


Рис. 8 – Пристрій для механізованого нанесення ЕІЛ з обертанням електроду: 1 – електрод; 2 – вісь; 3 – радіатор; 4 та 7 – штанги; 5 – корпус; 6 та 8 – деталі кріплення; 9 – противага; 10 – штуцери; 11 – підшипники

При багаторазовому повторному легуванні по технології: попереднє ППД обкочуванням кулькою – ЕІЛ твердим сплавом – ППД обкочуванням кулькою – ЕІЛ твердим сплавом – ППД обкочуванням кулькою виникають загартовані ділянки із багатшарової структури із загартованих та декілька разів перегагартованих об'ємів, в яких підвищений склад карбідів вольфраму та лінз. При пластичному деформуванні поверхневого шару відбувається деформування, подрібнення та утворення вторинних структур, які складаються з перенесених карбідів та основного матеріалу. Обкочування кулькою після ЕІЛ дає можливість проведення повторного ЕІЛ, збільшує товщину зміцненого шару та його щільність. У випадку високовуглецевих сталей багаторазове ЕІЛ та обкочування кулькою проводять до термообробки.

Для підвищення стійкості деталей машин типу валу в умовах виробництва розроблена технологія створення комбінованих покриттів за наступною схемою (з використанням ЕІЛ різними електродами, з вібрацією електроду):

- підготовка деталей, що включає механічну обробку до кінцевих розмірів або до розмірів з припуском під шліфування;
- підготовка установки ЕІЛ-2 до роботи, що включає підбір оптимальних струмів, розмірів і наступних матеріалів електродів: твердий сплав ВК15 і графітовий стержень з ЕД-75;
- нанесення твердого покриття проводиться пошарово: ВК15→графіт→ВК15;
- робочий режим легування з контролем параметрів процесу: по струму споживання (0 – 20А) і напрузі (до 250В), а також візуально по іскрі;
- електроіскрове шліфування зразка при тих же параметрах процесу із зміною полярності електроду і деталі;



- контрольні обміри деталі для визначення товщини отриманого покриття;
- обкатка роликком циліндричної або обтискання плоскої поверхні деталі до необхідних розмірів і чистоти поверхні не нижче 7 класу;
- остаточне шліфування деталі до отримання розмірів, потрібних за кресленням.

#### **Висновки:**

1. Отримані результати представляють практичний інтерес для технологічних розробок, що забезпечують формування покриттів з необхідними експлуатаційними властивостями для різних умов роботи деталей машин, а також інформацію про можливість зміни властивостей покриттів методом варіювання електродними матеріалами.

2. Нанесення електроіскрових покриттів збільшує експлуатаційну стійкість деталей машин в 3–6 разів.

**Список літератури:** 1. Патент на корисну модель №40858 Україна, МПК В23Н 1/00. Спосіб електроіскрового зміцнення поверхні металів та сплавів / Маковей В.О., Бородий Ю.П., Куріхін В.С. (Україна) НТУУ. – № u2008 13977 Заявл. 04.12.2008; Опубл. 27.04.2009, Бюл. №8. 2. Самсонов Г.В. Електроіскрове легування металічних поверхонь/ Самсонов Г.В. та ін.// Київ: Наукова думка. – 1976, – с. 220. 3. Шнейдер Ю.Г. Чистовая обработка металлов давлением/ Шнейдер Ю.Г. // М. – Л: ГНТИ машиностроительной литературы, 1963. – 263 с., ил. 4. Бородий Ю.П. Экспериментальное исследование особенностей формирования поверхностного износостойкого слоя рабочих элементов разделительных штампов/ Бородий Ю.П., Маковей В.А.// Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 2 (37). – 2013. – ПолтНТУ.

*Надійшла до редколегії 24.05.2014*

УДК 534.2+539.14.01

**В. В. ЛОТОУС**, председатель правления ОАО «Полтавский ГОК»,  
Комсомольск;

**Е. А. НАУМОВА**, инженер, Кременчугский национальный университет  
им. М. Остроградского, Кременчуг;

**В. В. ДРАГОБЕЦКИЙ**, докт. техн. наук, проф., Кременчугский  
национальный университет им. М. Остроградского, Кременчуг.

### **ИМПУЛЬСНОЕ ОБЖАТИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

В статье приведено описание технологий основанных на действии кумулятивных зарядов взрывчатого вещества на обрабатываемый материал. Рассмотрены вопросы использования энергии взрыва для распада и синтеза химических элементов в кумулятивной струе. Приведено качественное описание процесса обжатию цилиндрической оболочки кумулятивным зарядом взрывчатого вещества. Образующиеся при обжатии оболочки гофры становятся источниками системы кумулятивных струй.

---

© В. В. Лотоус, Е. А. Наумова, В. В. Драгобецкий, 2014