

Список литературы

1. Суслов А.Т., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684с.
2. Патент України 19905. Спосіб обробки матеріалів різанням/ В.О. Маруніч. Бюл.№1-2007.
3. Тихомиров Р.А., Николаев В.И. механическая обработка пластмасс. – Л.: Машиностроение, 1975.
4. Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.
5. П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский Планирование эксперимента в машиностроении. – Минск: Высшэйшая школа, 1985.
6. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981.— 184 с, ил.
7. Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Т. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – Киев: Техника, 1977.

УДК 621.979.134

**В.О.Маковей, канд.техн.наук, доц., Ю.П.Бородій, асист., В.С.Куріхін, студ.
НТУ України "Київський політехнічний інститут", м.Київ, Україна**

ФОРМУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА РІЖУЧИХ КРОМКАХ ШТАМПІВ ТА НА ДЕТАЛЯХ МАШИН

В этой работе рассмотрено создание износостойких комбинированных покрытий различными методами, которые включают поверхностное пластическое деформирование и электроискровое легирование. Создано и испытано оборудование для нанесения и испытания комбинированных покрытий. Исследования показали, что комбинированное покрытие поверхностей трения уменьшает адгезионный износ наиболее эффективно на стадии приработки в 4-5 раз, а в дальнейшем – в 2 раза.

In this work is looked through the creation of wear-proof integrated coverings by different methods, which includes surface plastic deformation and electric-spark alloying. Equipment for application and testing of integrated coverings is created. Testing shows, that integrated covering of wear surfaces reduce adhesion wear mostly effective on wear-in stage in 4-5 times, and in 2 times in the future.

Умовами ефективної експлуатації штампів та деталей машин, наприклад колісних пар залізничного транспорту, є якісний та швидкий їх ремонт. Вирубні та пробивні штампи відносяться до екстремально навантажених трибосистем. Взаємодія між інструментом та заготовкою локалізована в безпосередній близькості від робочої кромки [1, 2], де в вузькій контактній зоні виникають високі навантаження, величина яких може досягати 1500...1800 МПа. Для технологічного оснащення (штампів, прес-форм), конструктивних елементів транспортних засобів, в тому числі рейок та коліс залізничного транспорту, вихід з ладу та спрацювання важконавантажених деталей вузлів тертя при обмеженому змащенні пов'язано з двома конкуруючими процесами - зношуванням та поверхневою втомою. Ці деталі та конструктивні елементи виготовлені головним чином з легованих високовуглецевих сталей (з вмістом вуглецю більше 0,7%). Запобігання зношуванню можливо нанесенням зносостійких покриттів різними методами (електроіскровим легуванням, газоплазмовим, іонно-плазмовим покриттям).

Але проведені дослідження на карбувальних та вирубних штампах вказують на їх ефективність на початковій стадії – на етапі припрацювання вузла тертя. Зношування уповільнюється, але процес не припиняється, завдяки поверхневій втомі твердого покриття та його невеликій товщині. В разі присутності абразивних часток процес значно прискорюється.

У теперішній час поширений найбільш дешевий метод зміцнення елементів конструкцій та ріжучих кромок – електроіскрове легування (ЕІЛ) з використанням твердих сплавів. Вимоги до електроіскрового легування, які гарантують надійну роботу конструкцій та оснащення, включають правильний вибір матеріалів електродів, технологічних режимів ЕІЛ, підготовку поверхні, яку зміцнюють [3-5]. В якості матеріалів електродів використовують тверді сплави на основі карбідів вольфраму та титану. Кінетику формування покриттів характеризують кількістю перенесеного матеріалу електрода [3, 6]. На властивості легованого шару впливає фазовий склад електродного матеріалу. В процесі легування має місце періодична зміна величин ерозії твердих сплавів [6]. Це пов'язано з тим, що при ЕІЛ матеріал електроду переноситься на деталь в трьох агрегатних станах

$$\Delta e = \Delta p + \Delta r + \Delta kр,$$

де Δp – кількість матеріалу в паровій фазі, Δr - кількість матеріалу в рідинній фазі, $\Delta kр$ - кількість матеріалу в твердій фазі (за рахунок крихкого руйнування).

Кількість матеріалу електроду в паровій Δp та рідинній Δr фазах приблизно однакова за кожен імпульс току. Кількість твердої складової, яка переноситься на деталь, може бути різною за кожен імпульс току. В разі ЕІЛ сплавами ВК-20 та ВК-25, які мають в своєму складі велику долю легкоплавкого кобальту, ерозія електроду відбувається за рахунок плавлення та випаровування. Чим менше кобальту в твердому сплаві тим більше його крихкість, тим більша тверда фаза при переносі матеріалу електрода [6]. Електроіскрове легування представляє собою складний нелінійний процес, який залежить від таких характеристик ЕІЛ, як величина та тривалість імпульсу та розмір міжелектродного проміжку. Практично не досліджено вплив стану поверхні деталі та її фізико-механічних властивостей на формування електроіскрових покриттів.

Мета роботи – дослідження впливу поверхневого пластичного деформування деталей та ріжучих кромок штамів на формування електроіскрових покриттів, розробка комбінованих методів нанесення зносостійких покриттів та дослідження їх експлуатаційних властивостей.

Роль твердих часток, які знаходяться на робочій поверхні деталі або на поверхні ріжучої кромки штампа, 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 ріжучих кромок та тверді частки повинні працювати як єдине ціле, що можливо забезпечити комбінованими методами нанесення зносостійких покриттів. При ЕІЛ поверхні ріжучої кромки 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. Воно може бути змінено 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 [7]. 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 ліній, які залишаються білими після травлення (рис.1).

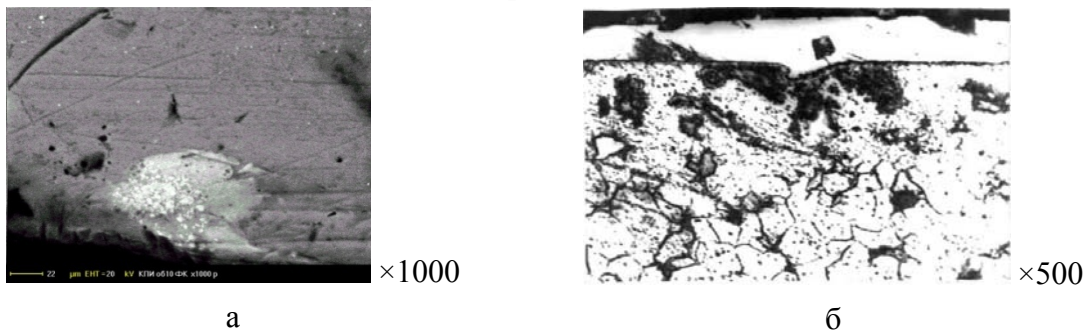


Рис.1 Структурні зміни поверхневого шару при електроіскровому легуванні високовуглецевої сталі (а) та маловуглецевої сталі (б)

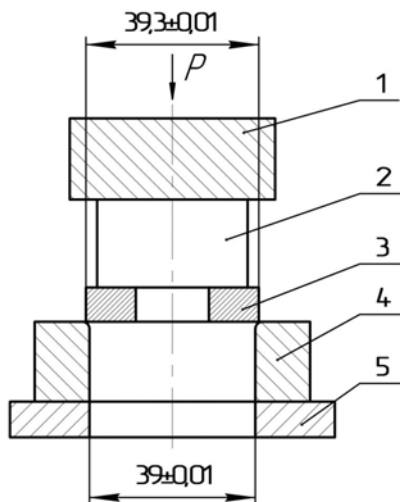


Рис. 2 Схема поверхневого комбінованого зміцнення шляхом пресування та ЕІЛ: 1-траверса пресу, 2-пуансон, 3-зразок, 4-матриця, 5-стіл пресу

В роботі розглянуті два способи поверхневого пластичного деформування кільцевого зразка: пресуванням зразка з зовнішнім діаметром, який більше діаметра матриці (рис. 2) і в експериментах змінюється (більше діаметра матриці на 0,3 мм та 0,6 мм) та обкочуванням кулькою $\varnothing 10$ мм, при оптимальній кількості проходів, при цьому тиск на кульку змінювався (1,6 та 2,4 кН). Перший спосіб дає можливість моделювати різний рівень залишкових напружень на поверхні. Другий спосіб має практичне застосування, та дозволяє багаторазово пластично деформувати робочу поверхню до та після ЕІЛ на універсальному обладнанні (рис. 3). При цьому, для досліджень були використані сталі різних класів: ШХ 15, У 7 та Ст.45 (у відпаленому та загартованому станах). Пластичне деформування пресуванням призводить до збільшення твердості поблизу

поверхні, в разі пресування зразка $\varnothing 39,3$ мм в 1,25 рази, а в разі пресування зразка $\varnothing 39,6$ – в 1,38 рази (рис. 4). В подальшому проводили ЕІЛ зразка $\varnothing 39,3$ та пресування після ЕІЛ, що збільшує твердість на відстані від краю 30...50 мкм до HV 500...520

(рис.5). Електроіскрове легування циліндричних поверхонь проводимо при використанні м'якого режиму(сила струму в імпульсі розряду – 35...40А).

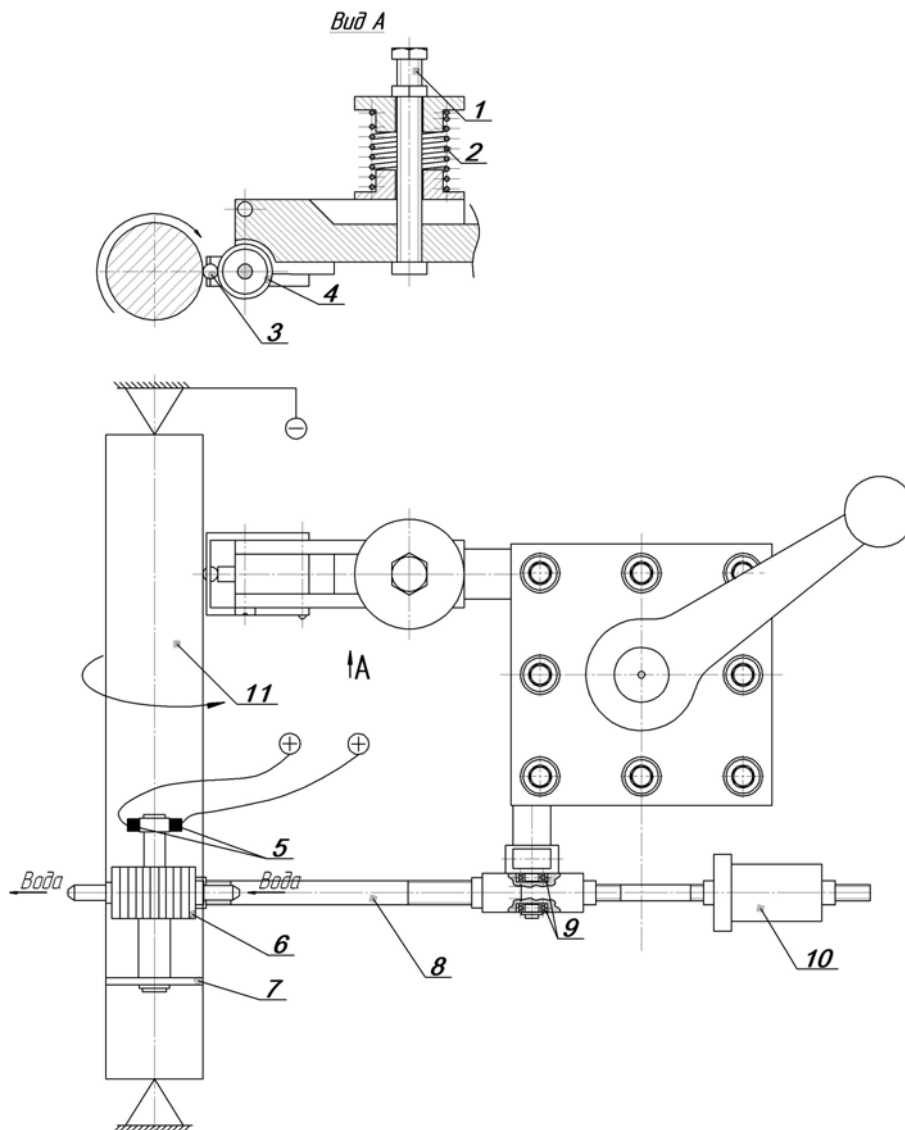


Рис.3 Схема для формування комбінованого зносостійкого покриття на валах:

- 1- регулювальний гвинт, 2-пружина, 3-кулька, 4- підшипник, 5- графітові щітки, 6-радіатор, 7-електрод, 8-штанга, 9-підшипники, 10-противага, 11- вал

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 слоїстої 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. В разі високовуглецевих сталей багаторазове ЕІЛ та обкочування кулькою проводять до термообробки.

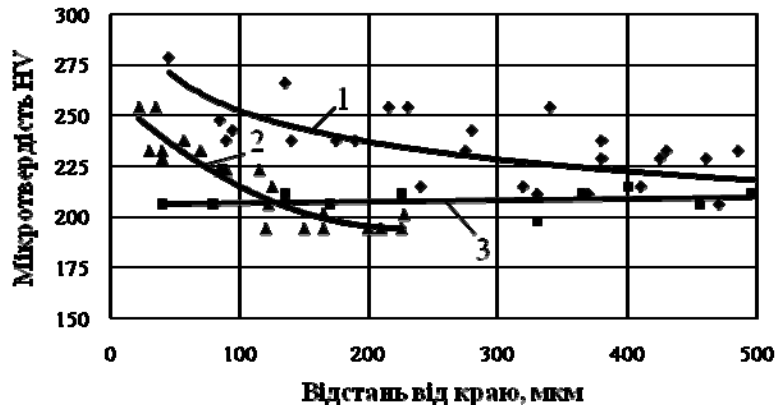


Рис.4 Вплив поверхневого пластичного деформування пресуванням на твердість сталі ШХ 15 відпаленої (HV 198...211): 1 - пресування заготовки Ø 39,6, 2 – пресування заготовки Ø 39,3, 3 – зразок без обробки

Розроблена технологія підвищення зносостійкості ріжучих кромки штамів, гребенів колісних пар локомотивів, валів цементних фасувальних машин, яка включає попереднє поверхнєве пластичне деформування кулькою за допомогою пристрою (див. рис.3), який встановлюється в різцетримач токарно-гвинторізного верстату,

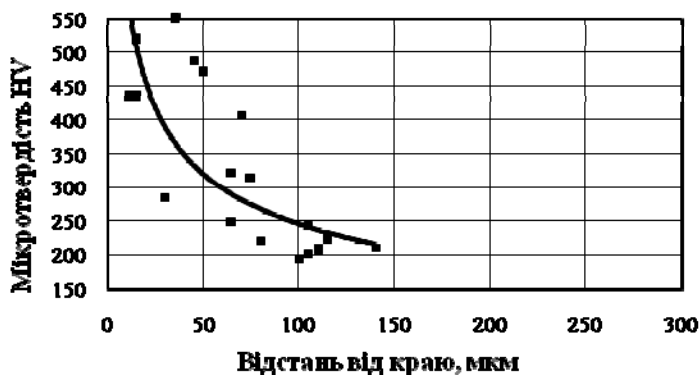


Рис.5 Вплив комбінованої обробки (поверхнєве пластичне деформування пресуванням, електроіскрове легування та поверхнєве пластичне деформування) на твердість відпаленої сталі ШХ 15 (HV 194...206)

механізоване ЕІЛ твердим сплавом за допомогою спеціальної головки (див. рис. 3), 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 [7].

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

Попередньо проведені дослідження поверхневого пластичного деформування циліндричних зразків діаметром 40 мм із сталі 45 (HV 414...420) обкочуванням кулькою. При цьому досліджували вплив величини зусилля, яке прикладене до кульки (рис.6), та кількості проходів на твердість, яку вимірювали мікротвердоміром ПМТ-3.

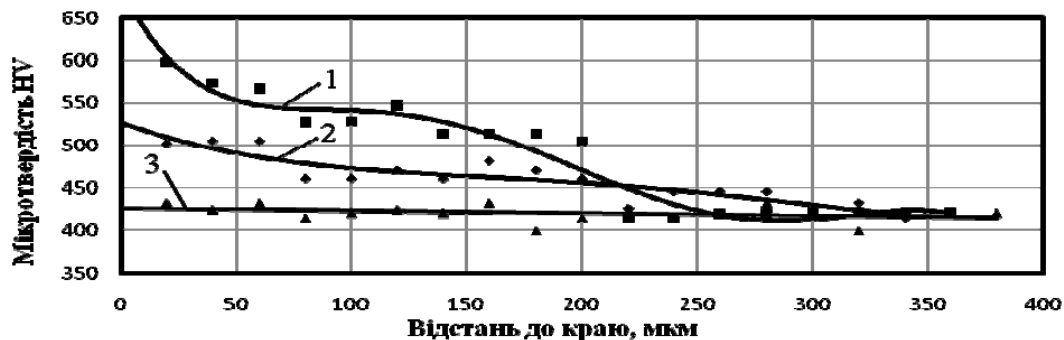


Рис.6. Вплив обкочування кулькою з різним зусиллям на мікротвердість загартованої сталі 45 (HV 414...420): 1 – обкочування зусиллям 2,4 кН за 4 переходи, 2 – обкочування зусиллям 1,6 кН за 4 переходи, 3 – без обробки

Результати досліджень подібні даним з пресування зразків з відпаленої сталі ШХ15. Встановлено збільшення твердості в 1,25 рази після обкочування за 4 проходи з зусиллям 1,6 кН, та в 1,5 рази після обкочування з зусиллям 2,4 кН за 4 проходи. Збільшення кількості проходів до 8 не приводить до збільшення твердості на поверхні.

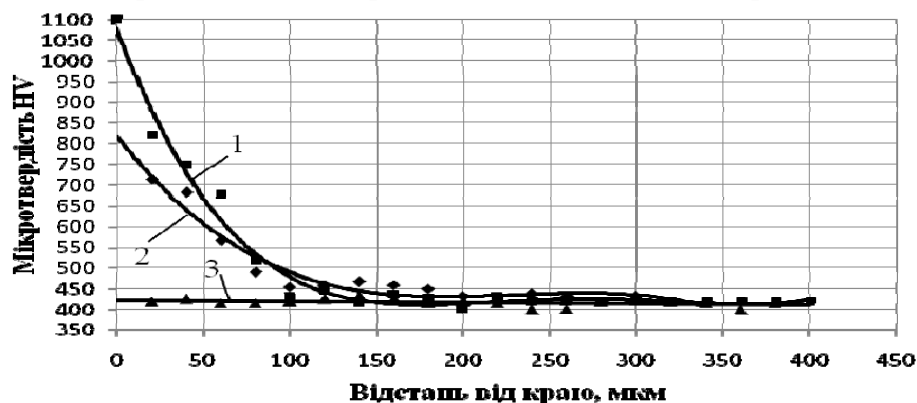


Рис.7. Вплив комбінованої обробки (обкочування кулькою з різним зусиллям, електроіскрового легування та обкочування кулькою) на мікротвердість загартованої сталі 45 (HV 414...420): 1- обробка зусиллям 2,4 кН за 4 переходи, 2 – обробка зусиллям 1,6 кН за 4 переходи, 3 – без обробки

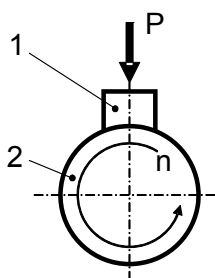


Рис. 8. Схема випробувань на зношування кільцевих зразків: 1- контрзразок, 2- зразок

Вплив комбінованої обробки (ППД кулькою з зусиллям 1,6 кН, 4 переходи, механізоване електроіскрове легування в м'якому режимі (сила струму в імпульсі розряду - 35...40А), ППД кулькою з зусиллям 1,6 кН, 4 переходи) вивчали на циліндричних зразках діаметром 40 мм із сталі 45 (HV 414...420). Встановлено збільшення твердості в 1,8...2 рази (рис.7).

Для лабораторної оцінки ефективності зміцнення використовували дослідження на машині тертя М-22М за схемою (рис.8) із охолодженням зразка водою.

Дослідження показали збільшення зносостійкості відпаленої сталі У7 (HV 220...240) з комбінованим покриттям після пробігу 25 км – в 4рази, при пробігу 50 км – в 2,5 рази

(рис. 9), а загартованої сталі 45 (HV 337 та HV 420) з комбінованим покриттям після пробігу 22 км в 5 разів (рис. 10). Це свідчить, що на стадії припрацювання зносостійкість покриття значно вища, ніж на усталеній стадії.

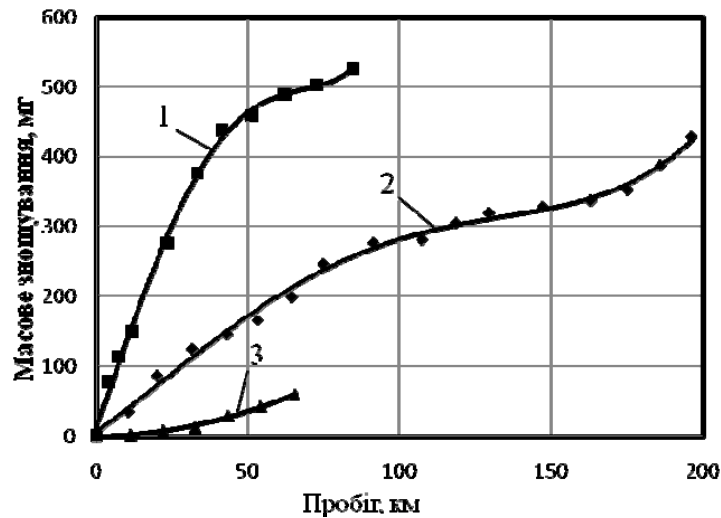


Рис.9. Залежність масового зношування зразків зі сталі У7 (HV 220...240) після комбінованої обробки (обкочування кулькою з зусиллям 1,6кН, електроіскрового легування та знову обкочування кулькою) від пробігу: 1 – зразок без обробки (P=400Н), 2 – після обробки (випробування при P=400 Н), 3 – після обробки (випробування при P=300 Н)

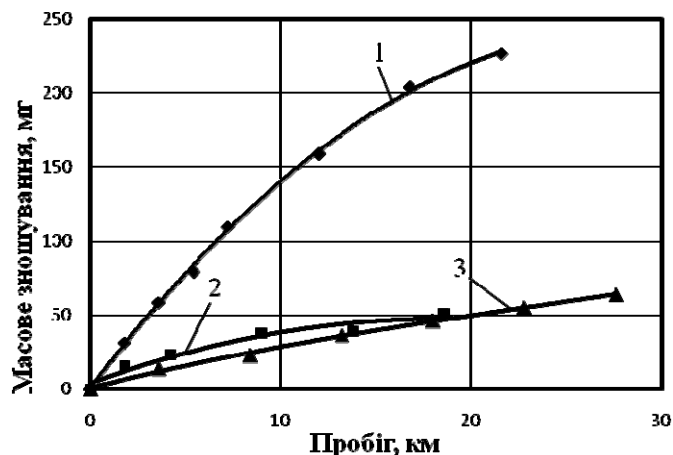


Рис.10. Залежність масового зношування зразків із сталі 45 після комбінованої обробки: 1 – зразок (HV 337) без обробки після випробувань при P=500 Н, 2 – зразок (HV 337) після обробки та випробувань при P=500 Н, 3 – зразок (HV 420) після обробки (P=500Н)

Для підвищення стійкості ріжучих елементів штампів в умовах виробництва розроблена технологія створення комбінованих покриттів з використанням ЕІЛ спочатку твердим сплавом, потім графітовим електродом, знову ЕІЛ твердим сплавом та графітом. Натурні випробування ріжучих елементів зі сталі ШХ 15 (HRC 61...63) після нанесення комбінованих покриттів твердим сплавом та графітом проведені на експериментальному устаткуванні для різання дроту (рис. 11)

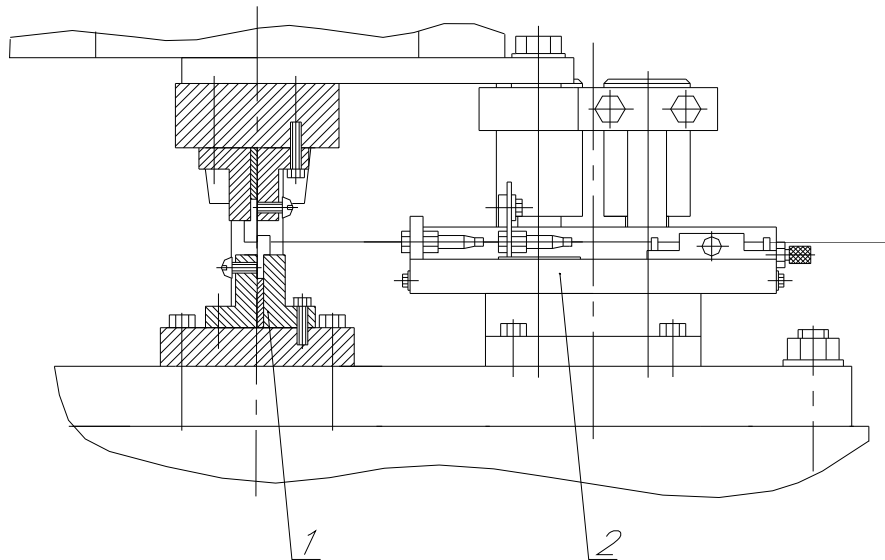


Рис. 11. Схема установки для дослідження зношування ріжучих кромки ножів штампів: 1 - штамп для різки дроту; 2 - клинова подача

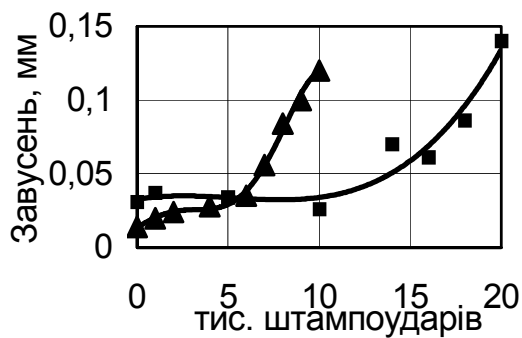


Рис.12. Стійкість ножів із сталі ШХ-15шд після зміцнення комбінованим електроіскровим легуванням твердим сплавом ВК-15 та графітом: 1 – до обробки, 2 – після обробки

Зношування ножів при різанні сталюого дроту $\varnothing 1$ мм після відпалу визначали вимірюванням величини завусня після кожної тисячі деталей за допомогою інструментального оптичного мікроскопу (дослідження проводимо до появи завусня $0,11 \div 0,12$ мм). Результати досліджень впливу на стійкість ножів комбінованого покриття приведені на рис.12. Проведені дослідження показали збільшення стійкості ножів в 2 рази.

Крім лабораторних досліджень були проведені випробування комбінованих покриттів на валах цементних фасувальних машин в умовах виробництва (ри.13).

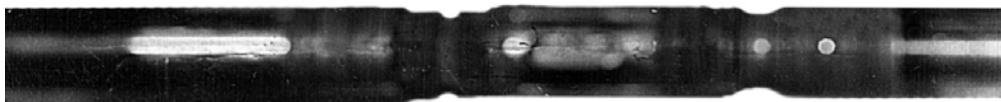


Рис. 13. Вал цементної фасувальної машини з комбінованим покриттям в області ущільнень після експлуатації один рік

Встановлено збільшення зносостійкості валів із сталі 40Х без термічної обробки в умовах абразивного зношування при сухому терті та дії цементного порошу, в 1,5 рази, що дало можливість проводити ремонт фасувальних машин із заміною валу 1 раз на рік.

Висновки

1. Розроблено комбінований метод зносостійких покриттів, який включає багаторазове легування та обкочування кулькою по технології: попереднє ППД кулькою – ЕІЛ твердим сплавом з високим вмістом кобальту– ППД кулькою – ЕІЛ – ППД кулькою, що дозволило сформувати твердий суцільний шар з твердістю до 1200 HV.

2. Створено та випробувано устаткування для нанесення та випробування комбінованих покриттів.

3. Проведені дослідження зносостійкості в умовах змащування водою показали, що комбіноване зміцнення високої твердості поверхонь тертя гальмує адгезійне зношування особливо ефективно на початковій стадії (в 4...5 разів) в подальшому - в 2...2,5 рази.

4. При виробничих випробуваннях валів фасувальних машин при сухому терті в умовах абразивного зношування комбінованого покриття встановлено збільшення зносостійкості в 1,5 рази.

Список литературы

1. Степанский Л.Г., Чемерис Е.И. Усталостная прочность режущих кромок вырубных и пробивных пуансонов и матриц. – Кузнечно-штамповочное производство – 1992. - №8, с 7-8.

2. Георгиев М.И., Фукс-Рабинович Г.С. Требования к структуре материалов с точки зрения триботехнических особенностей разрушения поверхности вырубных штампов. – Трение и знос – 1988. - №6, с. 1092-1095.

3. Шемегон В.И. Влияние материала электрода на формирование электроискровых покрытий. – Металловедение и термическая обработка металлов. – 2007. - №9, с 34-39.

4. Маковой В.А., Бородий Ю.П. Влияние электроискрового легирования на износ режущих элементов штампов. – КШП.- 2001.-№9, с30-33.

5. Маковой В.А., Бородий Ю.П. Повышение стойкости разделительных штампов Вестник машиностроения - 2004, №45, с. 35-38.

6. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Зайцев Е.А., Воронкин М.А., Исаева Л.П. Процесс формирования и характеристики упрочненного слоя – Порошковая металлургия – 1976. - №10, с 34-39

7. Шнейдер Ю.Г. Чистовая обработка металлов давлением. -М. - Л: ГНТИ машиностроительной литературы, 1963. – 263 с., іл.