

УДК 621.979.134

Ю.П. Бородій, асист.

НТУ України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РІЖУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОЗДІЛЯЮЧИХ ШТАМПІВ ПОВЕРХНЕВИМ ЗМІЦНЕННЯМ

*В работе рассмотрено создание износостойких комбинированных покрытий различными способами, совмещающими электрофизические, электрохимические методы обработки, а также поверхностное пластическое деформирование. Спроектировано, изготовлено и опробовано оборудование для нанесения и испытания комбинированных покрытий. Проведенные исследования показали, что комбинированное упрочнение режущих элементов увеличивает износостойкость и уменьшает адгезионный износ в 2 раза, а на стадии приработки в 4-5 раз.*

*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.*

Підвищення стійкості вирубних та пробивних штампів є актуальною задачею в умовах масового та багатосерійного виробництва.

Важливо встановити механізми формування структури поверхні робочих елементів штампів та її вплив на механізми зношування робочих кромок. В залежності від штампової сталі, режимів термічної та механічної обробки ріжучі елементи штампів можуть мати різну структуру та механічні властивості. Під час механічної обробки (шліфування) та подальшої експлуатації на робочих гранях протікають одночасно два процеси: термічного впливу та пластичної деформації (наклепу). Інтенсивність кожного з процесів суттєво відрізняється.

При шліфуванні переважний вплив має висока температура. Для сталі X12M вона наближається до 1000 градусів [1]. Швидке охолодження призводить до повторного загартування та формування структури, яка включає велику кількість (до 20%) залишкового аустеніту [1]. Зона повторного загартування поблизу поверхні має товщину до 5 мкм і високу твердість до  $HV = 8$  ГПа (65 HRC). Під цією зоною знаходиться зона, твердість якої знижена до  $HV = 7,6$  ГПа.

Після експлуатації штамп, що складає 2000 навантажень (приблизно 20% від загального ресурсу), поверхневий шар руйнується та формується нова топографія контактної поверхні ріжучих кромок [2]. Об'єм зруйнованого матеріалу при цьому складає близько 80% від припустимого. В контактній зоні проходять структурні перетворення в інтервалі навантажень  $2 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^3$  циклів. Залишковий аустеніт під дією пластичної деформації перетворюється в мартенсит.

При подальшому збільшенні числа циклів навантаження змінюється механізм зношування ріжучих кромок із адгезійного та абразивного на малоцикловий втомний [1, 3]. Окрім цього, із збільшенням числа циклів навантаження до  $7 \cdot 10^3$  збільшуються термічний вплив в зоні тертя та налипання матеріалу, який обробляється. Під дією температури твердість ріжучих кромок зменшується з  $HV = 7,2$  ГПа до  $HV = 6,2$  ГПа. Починається лавинна стадія зношування. Зношування ріжучих кромок штампа має подвійну молекулярно-механічну природу. З одного боку, бічне зношування зумовлене, головним чином, безперервним процесом виникнення та руйнування вузлів зчеплення (містків зварювання). З другого боку, при зануренні пуансона в метал в зв'язку з існуванням зазору до матеріалу деталі прикладається згинний момент, під дією якого центральна частина заготовки відходить від торця пуансона, а зовнішня – від торцевої частини матриці. Взаємодія торцевих частин інструменту з заготовкою відбувається по вузьким контактним поясам, в яких матеріал заготовки пластично деформується і переміщується по торцевим поверхням інструменту. В зоні контактних поясів адгезійне зчеплення відсутнє. Таким чином, на поверхні ріжучих елементів після виконання фінішних операцій потрібно сформувати залишкові напруження стиску.

Дослідження [1 - 2] показали, що для підвищення стійкості штампів необхідно створити на поверхні ріжучих кромок шар матеріалу із структурою та комплексом властивостей, які мають максимальну стійкість до різних типів впливу та гальмують негативні структурні перетворення в процесі роботи штампів. Висока ефективність використання покриттів обумовлена тим, що зона активації поверхні при терті невелика. Глибина її не перевищує 10-15 мкм. Саме тому при нанесенні покриттів всі основні взаємодії локалізуються в шарі покриття. Покриття грають роль екрану, який захищає поверхні ріжучих кромок від пошкоджень, налипання матеріалу заготовки, особливо на стадії припрацювання. Необхідно забезпечити мінімальне пошкодження ріжучих кромок і сталість термомеханічної активації поверхні до моменту адаптації. Це досягається, в першу чергу, за рахунок забезпечення високої твердості покриття [4 - 6]. Підвищення мікротвердості і відповідно межі текучості збільшує опір напруженням, які викликають змінання ріжучих кромок.

Мета проведених досліджень: вивчення процесів, які відбуваються в тонких поверхневих шарах ріжучих елементів штампів після поверхневого зміцнення різними методами. В теперішній час об'єм таких досліджень досить невеликий.

Серед технологічних процесів, які зміцнюють ріжучу кромку, в роботі розглянуті принципово різні технологічні процеси: електроіскрове легування (ЕІЛ) твердим сплавом [7], поверхнєве пластичне деформування, іонно-плазмова обробка.

Електроіскрове легування – це процес, що супроводжується дифузійним насиченням поверхні ріжучої кромки карбідами вольфраму чи титану. При ЕІЛ поверхні ріжучої кромки твердим сплавом утворюються структурні елементи, їх

кількість та характер розташування залежить також від початкового структурного стану поверхневого шару, точніше від енергетичного стану атомів на поверхні. Така структура може бути покращена методами поверхневого пластичного деформування. У випадку прикладення пластичної деформації в металі на рівні мікроструктури відбувається створення блоків та їх розворот [8]. При наступній 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 (рис. 1). При проведенні ЕПЛ ріжучих кромок утворюється легуючий шар товщиною 30...50 мкм з високою твердістю (HV 1000...1200), який має міцний зв'язок з матеріалом основи. Тому містки зварювання, які безперервно виникають між заготовкою і ріжучим елементом, крихкі і практично відсутнє глибоке руйнування штампового матеріалу. Перспективним напрямком отримання легуючого шару з високими міцністю та зносостійкістю є формування аморфних та метастабільних структур при високих швидкостях нагріву та охолодження, які виникають при електроіскровому легуванні. Аморфні поверхневі сплави, які виникають при швидкому загартуванні, мають високу однорідність хімічного складу. В них відсутні границі між зернами і при травленні вони мають вигляд білих смуг (рис.1 а) та б)). Для стабілізації аморфного стану в композиції таких матеріалів вводять вуглець, фосфор, бор, кремній.



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

Крім того, контактні пояски на пуансоні та матриці завдяки насиченню поверхні ріжучої кромки карбідами вольфраму чи титану мають підвищену стійкість на зминання, внаслідок чого зношування пуансонів і матриць зменшується.

Висока ефективність використання іонно-плазмових покриттів обумовлена тим, що активована при терті зона поверхні ріжучої кромки не перевищує 10-15 мкм [4], що приблизно дорівнює товщині покриття при іонно-плазмовій обробці. Тверді покриття (HV=30 ГПа) виконують роль екрану, який захищає робочі кромки пуансона і матриці від пошкоджень, особливо на стадії припрацювання. Мінімально пошкоджена поверхня, яка потім входить в режим адаптації, знаходиться в стадії мінімального зношування більш довгий час, ніж без покриття. Отже, іонно-плазмова обробка викликає осаджування нітриду титану на поверхню ріжучої кромки, причому зчеплення такого покриття має адгезійну природу.

Всі наведені факти та закономірності підтверджуються дослідженнями зносостійкості ножів для різання дроту. Як критерій затуплення ріжучих кромок була прийнята висота загусення на готовій деталі. Для проведення натурних випробувань на стійкість ріжучих елементів розроблена та виготовлена експериментальна установка (рис. 2), яка складається з трьох частин: штамп для різання дроту, який має два змінних ножа (верхній та нижній), клинної подачі, яка служить для подачі дроту в штамп, бухти з дротом. Клинна подача має правильний пристрій, дві цанги (рухома та нерухома) для подачі дроту, пристрій для регулювання величини подачі. Один комплект ножів дозволяє виконувати 3 випробування. Випробувальна установка встановлена на механічний прес моделі КД 2322 з номінальним зусиллям 160 кН та числом ходів 120 за хвилину. Таким чином, можна говорити про створення експериментальної установки для випробування зносостійкості різних покриттів ріжучих елементів в однакових технологічних умовах (рис. 2).

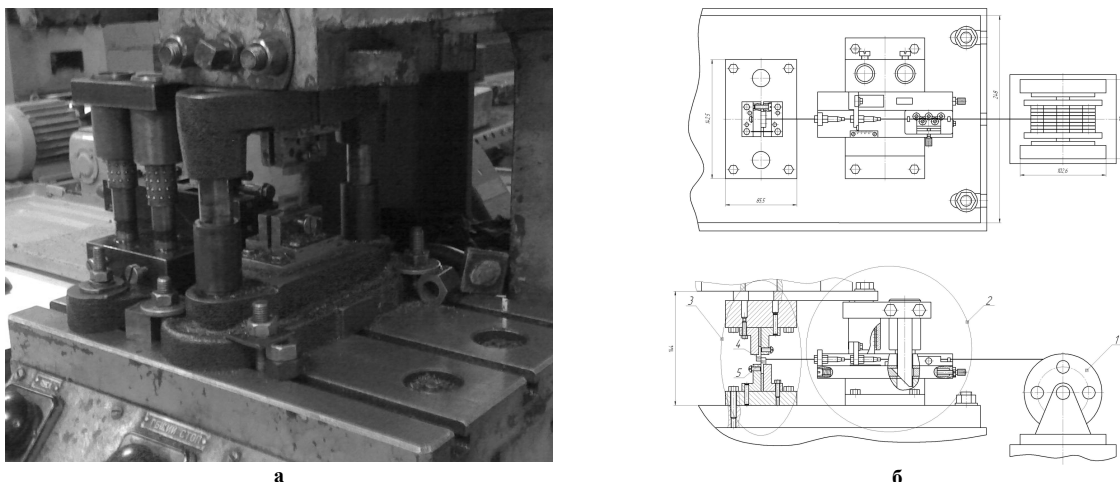


Рис. 2. Установка для дослідження зношування ріжучих кромки ножів штампів:  
а) Загальний вигляд б) Схема установки: 1 – бухта з дротом; 2 – автоматична подача; 3 – пристрій для кріплення ножів; 4 – верхній ніж; 5 – нижній ніж

Для проведення випробувань використовували 6 пар ножів із сталі ШХ-15 шд. Перша пара пройшла стандартну термообробку: загартування при температурі 830...835 °С в мінеральне мастило з наступним відпуском при температурі 180...200°С. Друга пара ножів пройшла стандартну термообробку та електроіскрове легування поверхні твердим сплавом ВК-15 при величині струму в первинній обмотці силового трансформатора  $I_p = 2...2,5$  А, час обробки одного  $cm^2 - 2$  хвилини [7]. Третя пара ножів пройшла стандартну термообробку та нанесення іонно-плазмового покриття нітридом хрому товщиною 5...7 мкм за стандартною технологією [9]. Четверта пара ножів проходила стандартну термообробку та електроіскрове легування поверхні, яке періодично повторювалося в процесі роботи ножів. П'ята пара ножів була виготовлена із сталі ШХ-15шд, пройшла стандартну термообробку та була зміцнена комбінованим електроіскровим легуванням спочатку твердим сплавом ВК-15, а потім графітом [10]. Шоста пара ножів була виготовлена із сталі ШХ-15шд, пройшла стандартну термообробку та була зміцнена комбінованим способом, що включав електроіскрове легування твердим сплавом та поверхневе пластичне деформування [10].

Зношування ножів при різанні дроту марки ПР 1 діаметром 1 мм після відпалу визначали вимірюваннями величини завусення після кожної тисячі деталей за допомогою інструментального оптичного мікроскопу. Результати досліджень впливу на стійкість ножів вакуумного іонно-плазмового покриття нітридом хрому приведені на рис. 3, електроіскрового легування – на рис. 4, періодичного електроіскрового легування в процесі роботи ножів – на рис. 5, електроіскрового легування твердим сплавом та графітом – на рис. 6, електроіскрового легування та поверхневого пластичного деформування – на рис. 7.

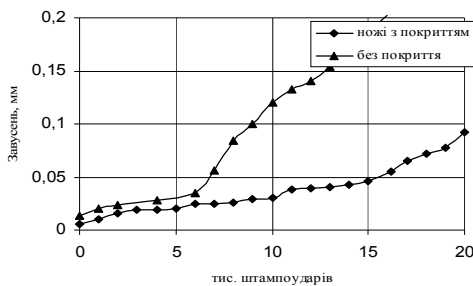


Рис. 3. Дослідження стійкості ножів із сталі ШХ-15 шд без покриття та з покриттям поверхні нітридом хрому

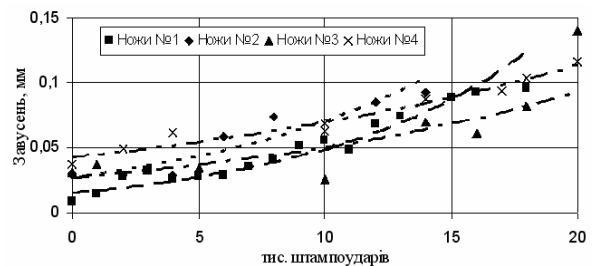


Рис. 4. Дослідження стійкості ножів із сталі ШХ-15 шд після зміцнення електроіскровим легуванням за різними технологіями

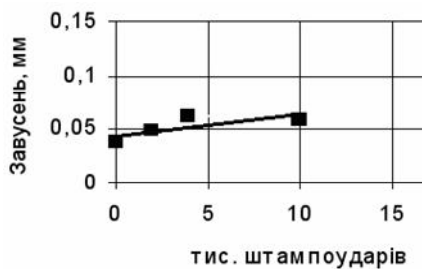


Рис. 5. Дослідження стійкості ножів із сталі ШХ-15 шд після періодичного електроіскрового легування в процесі роботи ножів

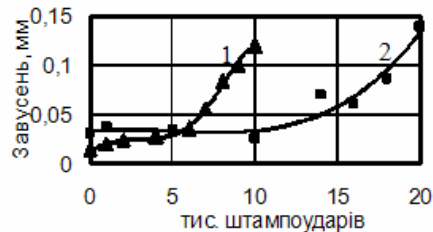


Рис. 6. Дослідження стійкості ножів із сталі ШХ-15 шд після зміцнення комбінованим електроіскровим легуванням твердим сплавом ВК-15 та графітом: 1 – до обробки, 2 – після обробки

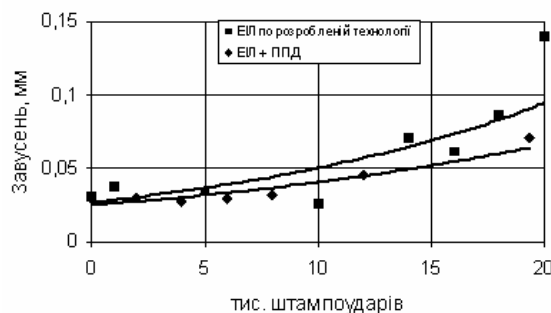


Рис. 7. Дослідження стійкості ножів із сталі ШХ-15 шд після комбінованого зміцнення електроіскровим легуванням та поверхневим пластичним деформуванням

Результати досліджень показали збільшення стійкості ножів до 2 разів, як при електроіскровому легуванні поверхні, так і при покритті нітридом хрому, а також при нанесенні комбінованих покриттів з поєднанням ЕІЛ та пластичного деформування, ЕІЛ різними електродами.

Аналіз характеру зношування незміцнених (рис. 8) та зміцнених (рис. 9 та 10) ріжучих кромок показав, що поверхневе зміцнення високої твердості гальмує адгезійне зношування бічної поверхні ножів, відбувається в основному зношування ріжучих кромок. У випадку випробувань ножів без покриття зношується бічна поверхня, що призводить до різкого збільшення завусення (рис. 3). Величина завусення в значній мірі залежить від величини

зношування  $h$  бічної робочої поверхні в вертикальному напрямку. У ножів без покриття величина  $h=0,31$  мм відповідає 8000 штампоударів,  $h=0,88$  мм – 10000 штампоударів, у ножів з покриттям нітриду хрому  $h=0,09$  мм відповідає 18000 штампоударів,  $h=0,16$  мм – 20000 штампоударів. Зношування ріжучої кромки має характер округлення-зминання. Також проводились роботи в напрямку встановлення оптимальних технологій, матеріалів для нанесення покриття, твердості та товщини покриття бічних поверхонь ріжучих елементів [9 – 10].

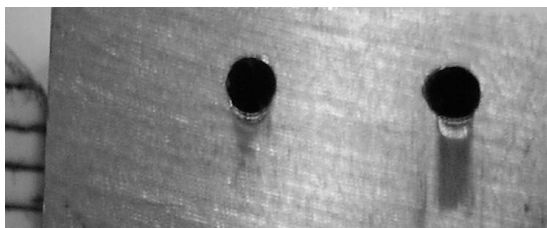


Рис. 8. Фотографія робочої бічної поверхні нижнього нерухомого ножа без зміцнення: 1-ий отвір (зліва) – 8 тис. штампоударів ( $h=0,31$  мм), 2-ий отвір (зправа) – 10 тис. штампоударів ( $h=0,88$  мм)



Рис. 9. Фотографія робочої бічної поверхні нижнього нерухомого ножа з покриттям нітридом хрому: 1-ий отвір (зліва) – 20 тис. штампоударів ( $h=0,16$  мм), 2-ий отвір (зправа) – 18 тис. штампоударів ( $h=0,09$  мм)



Рис. 10. Фотографія робочої бічної поверхні верхнього рухомого ножа з електроіскровим легуванням поверхні твердим сплавом ВК-15

#### Висновки

1. Розроблені комбіновані способи нанесення зносостійких покриттів, які поєднують електрофізичні, електрохімічні методи та поверхневе пластичне деформування. Створене та випробуване устаткування для нанесення та випробування комбінованих покриттів.

2. Результати досліджень показали, що для підвищення стійкості ножів для різання дроту необхідно зміцнювати бічні робочі поверхні з підвищенням їх твердості до HV 1000...1200. Дослідження зносостійкості ножів показали, що комбіноване зміцнення до високої твердості поверхонь тертя гальмує адгезійне зношування і особливо ефективно на початковій стадії (в 4...5 разів), в подальшому - в 2...2,5 рази. В підсумку це зменшує розміри завусеня на деталях. Зношування ріжучої кромки має характер зминання-закруглення.

3. Перспективним напрямком отримання шару з високою зносостійкістю є формування аморфних структур на поверхні при високих швидкостях нагріву та охолодження, які виникають при електроіскровому легуванні в поєднанні з поверхневим пластичним деформуванням.

#### Список літератури

1. Фукс-Рабинович Г.С., Ковалев А.И. Шаурова Н.К. Особенности изменения состава и структуры контактных поверхностей при изнашивании вырубных штампов // КШП. 1994. № 5, С. 13-17.
2. Фукс-Рабинович Г.С., Кузнецов А.Н., Леник К.С., Шаурова Н.К., Кузьмина Н.В. Влияние структурных характеристик контактных поверхностей на работоспособность штампов // КШП. 1990. № 9, С. 25-27.
3. Степанский Л. Г., Чемерис Е.И. Усталостная прочность режущих кромок вырубных и пробивных пуансонов и матриц// КШП. 1992. № 8, С. 7-8.
4. Тестер Е.И., Митин В.Я., Карпова А.П., Бондаренко Ю.В. Упрочнение вырубного инструмента из стали Р6М5 лазерами непрерывного действия // Металловедение и термическая обработка металлов. 1989. № 10. С. 18-20.
5. Жолткевич Н. Д., Горницкий А. Я., Буденный М. М., Ряховский А. В. Применение упрочняющих покрытий для повышения износостойкости рабочих элементов штампов // Кузнечно-штамповочное производство. 1998. № 11, С. 28-31.
6. Мовшович И. Я., Горелик Б. В. Повышение стойкости режущих элементов штампов методом вакуумно-плазменного упрочнения // Кузнечно-штамповочное производство. 2005. № 6, С. 19-31.
7. Маковой В. А., Бородий Ю. П. Повышение стойкости разделительных штампов // Вестник машиностроения. № 45, С. 35 -38.
8. Шнейдер Ю.Г. Чистовая обработка металлов давлением. – М. - Л: ГНТИ машиностроительной литературы, 1963. – 263 с., іл.
9. Маковой В. О., Бородий Ю. П. Вплив поверхневого зміцнення на характер зношування ріжучих кромок// Вестник машиностроения. № 50, С. 111-117. 2007
10. Маковой В. О., Бородий Ю. П., Куріхін В. С. Формування та дослідження комбінованих зносостійких покриттів на ріжучих кромках штампів та на деталях машин// Вестник машиностроения. № 55, С. 256-265. 2009.