

ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
Костюк Олена Геннадіївна

УДК 621.9.02.

**ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА
ЗА РАХУНОК КОМБІНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ
ТА НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ**

Спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук
Харків - 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
ГРАБЧЕНКО Анатолій Іванович,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, завідувач
кафедри різання матеріалів та різальних інструментів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ВНУКОВ Юрій Миколайович,

Запорізький державний технічний університет, завідувач кафедри верстатів та інструментів;
кандидат технічних наук, доцент
КРАСНОЩОК Юрій Степанович,
Харківський державний технічний університет сільського
господарства, доцент кафедри технології матеріалів.

Провідна установа: Інститут машин та систем НАН України та Державного комітету
промислової політики України (м. Харків).

Захист відбувся “ 22 ” березня 2001 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 64. 050. 12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний
інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 21 ” лютого 2001 року.

За вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради

Карпусь В.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення якості виробів, що випускаються, нерозривно пов'язано з використанням у машинобудуванні нових конструкційних матеріалів, що мають підвищені фізико-механічні та експлуатаційні властивості. Вагомою причиною, що стримує розширення галузі застосування цих матеріалів, є трудомісткість їх обробки, пов'язана з малою стійкістю різального інструменту. Особливо це стосується нержавіючих та жаростійких сталей та сплавів, що схильні до фізико-хімічної взаємодії з матеріалом інструмента, які також зберігають свої механічні властивості тільки при невисоких температурах.

Все це вказує на необхідність створення й використання більш теплостійких та зносостійких різальних інструментів.

Найефективнішим шляхом, пов'язаним з удосконаленням існуючих інструментальних

матеріалів, є модифікація поверхневого шару різального інструмента (РІ). Підвищення зносостійкості контактуючих поверхонь РІ досягається завдяки формуванню поверхневого шару зі спеціальними властивостями, що складається з нанесеного більш стійкого покриття та створеного інертного прошарку між інструментальним матеріалом та матеріалом, що оброблюється.

На цей час нема єдиного методу обробки поверхні, який забезпечив би увесь комплекс експлуатаційних властивостей. До числа таких методів належать: лазерне зміцнення (ЛЗ), що дає можливість істотно змінити властивості матеріалу поверхневого шару на глибину до 1 мм шляхом модифікації матеріалу РІ; іонно-плазмові покриття (ІПП), що підвищують у широкому діапазоні зносостійкість поверхні, її опір корозії і ерозії, та інші. У зв'язку з цим розробка комбінованої технології з використанням лазерного зміцнення та плазмово-іонних покриттів, яка б дозволила створити необхідний профіль зміни мікротвердості поверхневого шару за глибиною, одержати потрібну шорсткість, адгезію, зносостійкість та корозійну стійкість різального інструмента, є актуальною задачею для сучасного машинобудування.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Актуальність теми дисертації підтверджується тим, що вона пов'язана з виконанням робіт за такими програмами:

1. Програмою ДКНТ України з фундаментальних досліджень проект “Підвищення надійності та експлуатаційних властивостей деталей машин шляхом формування поверхневих шарів за допомогою комбінованих технологій, що включають плазмово-іонну та світлопроменеву обробки”.
2. Програмою наукових досліджень Міністерства освіти та науки України “Технологічні шляхи підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин шляхом створення поверхневих шарів із заданими властивостями”.

Мета й задачі дослідження: створення фізико-технічних основ підвищення стійкості РІ за допомогою комбінованої модифікації поверхневого шару та нанесення покриття, що дозволяють створити технологічний процес комбінованого зміцнення з раціональними технологічними параметрами та забезпечення раціонального вибору технологічної оснастки, що дозволяє отримати максимальну стійкість РІ.

Ця мета досягається шляхом рішення наступних задач:

1. розробка моделі теплового й напруженого стану РІ зі зміцненим шаром і покриттям, що дозволяє оцінити теоретичну стійкість РІ;
2. проведення експериментального дослідження стійкості РІ з комбінованим зміцненням і покриттям із метою перевірки гіпотез про теоретичну стійкість інструментів після комбінованого зміцнення;
3. створення експериментально – теоретичної методики прогнозування стійкості РІ в залежності від параметрів комбінованої обробки на базі аналізу технологічних режимів індивідуальних технологій, що входять у комбіновану, із метою вибору раціональних режимів комбінованої обробки РІ для одержання максимальної його стійкості;
4. розробка практичних рекомендацій для реалізації комбінованого зміцнення РІ шляхом створення алгоритму вибору технологічних параметрів і фізико-механічних характеристик матеріалу для забезпечення максимальної стійкості РІ.

Об'єктом дослідження є різальний інструмент із модифікованим поверхневим шаром та нанесеним покриттям.

Предмет дослідження – технологія комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки, яка дозволяє підвищити стійкість РІ.

Методи дослідження: 1. Аналітичні методи: метод кінцевих елементів та метод сіток для розрахунку теплового та напруженого стану РІ; метод регресивного аналізу, який використано для дослідження якісних властивостей поверхневого шару РІ. 2.

Експериментальні методи дослідження: оптичний метод – для дослідження морфології плівок і поверхонь (досліджували на оптичному мікроскопі “Neofot”), метод Вікерса, Брінеля та Роквела – для визначення твердості та мікротвердості (на мікротвердомірі ПМТ-3), рентгенівський метод – для дослідження складу поверхневого шару (досліджували на рентгенівському дифрактометрі “Дрон-3М” у випромінюванні CO₂ у кутовому діапазоні від 30 до 160°).

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше встановлені закономірності впливу технологічних параметрів установок на якісні характеристики при комбінованій, лазерній та плазмово-іонній обробці РІ.
2. Розроблена нова теплофізична модель теплового та напруженого стану РІ з покриттям та модифікованим поверхневим шаром.
3. Створена методика прогнозування продуктивності комбінованої лазерно-плазмово-іонної технології обробки РІ.
4. Розроблена нова комбінована лазерно-плазмово-іонна технологія обробки матеріалу РІ.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблений технологічний процес комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки дозволяє забезпечити високу продуктивність, потрібний діапазон якісних характеристик. Створена методика прогнозування продуктивності комбінованої обробки дає можливість отримати не тільки високу продуктивність комбінованої технології, але й продуктивність кожної з них окремо (плазмово-іонного нанесення покриття та лазерної обробки). Одержані експериментально-теоретичні залежності якісних характеристик комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки від технологічних параметрів установки реалізовані у вигляді прикладних програм, що дозволяють обрати раціональні умови технологічного процесу.

Дослідження теплового та напруженого стану матеріалу РІ з покриттям та зміцненим поверхневим шаром, продуктивності комбінованої обробки, експериментальна реалізація комбінованої обробки, прогнозування якісних характеристик у зв'язку з технологічними параметрами установки дозволяють створити фізико-технічні основи комбінованих лазерно-плазмово-іонних технологій, які з успіхом можуть бути використані для обробки деталей в різних галузях промисловості загального машинобудування, при виробництві товарів народного споживання та інших.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно одержані такі результати, що виносяться на захист:

1. Нова модель теплового та напруженого стану матеріалу РІ з покриттям та модифікованим поверхневим шаром.
2. Інженерна методика розрахунку продуктивності технологічних процесів при нанесенні покриттів, світлопроменевої обробки та комбінованої обробки матеріалів РІ.
3. Підсумки експериментальних досліджень та методика прогнозування якісних характеристик лазерно-плазмово-іонних комбінованих та окремих технологій у залежності від технологічних параметрів установок.

Реалізація роботи. Результати роботи, методики, моделі реалізовані у вигляді прикладних програм і використовуються при створенні технологічних процесів комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки матеріалів РІ у науково-виробничій корпорації (НПК) “ФЕД”, а також у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут” та Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Щорічний економічний ефект від впровадження результатів роботи склав 623 тис. карбованців за цінами 1991 року.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та підсумки дисертаційної

роботи обговорювалися на науково-технічних радах ХДАВП і НПК ФЕД, XVII міжнародному симпозіумі з розряду та електричної ізоляції у вакуумі (1998 рік) в Нідерландах; міжнародних конференціях “Нові технології у машинобудуванні” (1996, 1997, 1998, 1999 рр.); міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології у машинобудуванні, діагностування процесів та забезпечення якості” (Харків-1996 рік); на наукових семінарах кафедри “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано вісім друкованих праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, списку літератури, що використовувалася (126 джерел на 16 сторінках), і 5 додатків. Основна частина роботи містить 149 сторінок друкованого тексту, в тому числі 85 рисунків, з яких 56 розташовано по тексту і 29- на окремих сторінках, 12 таблиць, розташованих по тексту. Повний обсяг роботи 243 сторінки, в тому числі 5 додатків, розташованих на 52 сторінках та списку використаних джерел з 126 найменувань на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показано актуальність теми, мету роботи, результати, що виносяться на захист, наукова новизна, практична цінність, реалізація й апробація роботи та кількість публікацій.

Перший розділ, присвячений аналізу методів підвищення стійкості різального інструмента за рахунок нанесення покриття та світлопроменевої обробки, на основі якого сформульована мета та задачі дослідження, що реалізується. Виявлено передумови використання комбінованої лазерно-плазмово-іонної технології та її пріоритетність порівняно з індивідуальними, що вже використовувались.

У другому розділі наведено модель теплового та напруженого стану РІ з покриттям та зміцненим шаром. Вирішення задачі здійснюється з використанням балансу тепла в елементарному об'ємі деталі або стружки:

$$\frac{dT(x, y, z, \tau)}{d\tau} C[T] \times \gamma[T] = \nabla \lambda[T] \nabla T(x, y, z, \tau) + A \frac{dW_{TV}(y)(x, y, z, \tau)}{d\tau} + B \frac{dW_{TP}(n)(x, y, z, \tau)}{d\tau} \quad (1)$$

Енергія пружного деформування визначається через потенціал одиниці об'єму W , який записано у декартовій системі координат:

$$W = G[\xi_{xx}^2 + \xi_{yy}^2 + \xi_{zz}^2 + 2(\xi_{xy}^2 + \xi_{yz}^2 + \xi_{zx}^2)] + \frac{M}{1-M} l^2 - \frac{2(1+M)}{1-2M} l(T(x, y, z, t) - T_H) \quad (2)$$

Величини деформацій пов'язані умовами сумісності, за допомогою яких перевіряються правильність визначення подовження та зсуву та їх корегування за допомогою введення додаткового напруження.

Граничні умови:

1). У зоні контакту стружки з передньою поверхнею РІ:

$$-\lambda_c [T] \frac{\partial T(x_1, y_1, z_1, \tau)}{\partial n_1} = D_1 G [\xi_c T_c^4(x_1, y_1, z_1, \tau) - \xi_u T_u^4(x_3, y_3, z_3, \tau)] + \frac{\partial^2 m_{nn}}{\delta t \delta \tau} C \gamma T_u - q_{к о н} F_1 - F q_{ис п} \quad (3)$$

$s_{nn}=0, s_{nt}=0, s_{nz}=0$, при виході з зони контакту, а при контакті $s_{nn}=\frac{N}{bh_v}$

2). У зоні вільної поверхні стружки:

$$-\lambda \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial n_2} = -\sigma \xi_c T_c^4(x_2, y_2, z_2, \tau) + q_{к о з} - F_{ис п} \quad (4)$$

$s_{nn}=0, s_{nt}=0, s_{nz}=0$,

Баланс тепла в елементарному об'ємі покриття на інструменті має вигляд:

$$\frac{dT(x, y, z, t)}{dt} C_{п [T]} \times \gamma_{п [T]} = \nabla \lambda_{п [T]} \nabla T(x, y, z, t) + \frac{dW_{тв}(x, e, z, t)}{dt} - V_{изн п} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial n_3}, \quad (5)$$

де враховані теплопровідність, термопружне деформування, теплообмін, що виникає при зносі різця.

Граничні умови:

1). На передній поверхні різця – теплопровідність за рахунок тертя передньої поверхні по стружці та взаємопромінення передньої поверхні інструмента та стружки, вилучення матеріалу покриття за рахунок зносу передньої поверхні:

$$-\lambda_n [T] \frac{\partial T(x_3, y_3, z_3, \tau)}{\partial n_3} = D_3 q'_{Tm} - L_3 G[\xi_c T_c^4(x_3, y_3, z_3, \tau) - \xi_c T^4(x_3, y_3, z_3, \tau)] - q_{жмн_3} - \frac{\partial^2 m_{mm}}{\partial \alpha \partial \tau} C^1 \times \gamma \times T_B \quad (6)$$

2). На задній поверхні інструмента враховується тепловідведення за рахунок тертя задньої поверхні інструмента з деталлю, що оброблюється, та взаємопромінення інструмент - оброблювана деталь, а також тепловідвід із матеріалом інструмента, вилученого за рахунок зносу по задній поверхні інструмента:

$$-\lambda_{и [T]} \frac{\partial T(x_4, y_4, z_4, \tau)}{\partial n_4} = D_4 q'_{ТП} - E_4 G[\xi_{и} T^4_{и}(x_4, y_4, z_4, \tau) - \xi_D T^4_D(x_4, y_4, z_4, \tau)] - q_{кн 4_3} \quad (7)$$

3). На межі покриття та матеріалу інструмента граничні умови враховують рівність теплових потоків у зоні покриття та у зоні основного матеріалу інструмента:

$$\lambda_{п} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial n_3} = \lambda_{и} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial n_3}, \quad (8)$$

де $q_{ТПП}$ і $q_{ТЗП}$ – щільність теплового потоку, створюваного за рахунок тертя на передній і задній поверхні різального інструмента, o_{xx} ; o_{yy} ; o_{zz} – подовження o_{xy} ; o_{yz} ; o_{zx} – зрушення щодо відповідних осей; $q_{нпо}$ – щільність теплового потоку, що підводять при плазмово-механічній обробці (лазерно- механічній); $q_{кн}$ – щільність теплового потоку, що відводиться конвекцією; $T(x, y, z, t)$ – температура матеріалу в досліджуваній точці простору й у визначений час; $Z[T]$ і $g[T]$ – теплоємність і щільність оброблюваного матеріалу; $l_3[T]$ і $l_i[T]$ – коефіцієнт теплопровідності стружки і інструмента; $W_{ТУ}(Y)(x, y, z, t)$ і $W_{ТП}(П)(x, y, z, t)$ – термопружний і термопластичний потенціали одиниці об'єму деталі; G – постійна Стефана-Больцмана; x_i і x_3 – ступінь чорності матеріалу

$$\frac{F_{\text{трпл}} V_F}{l_{\text{к}} \rho^B}$$

інструмента й оброблюваного матеріалу; $q_{\text{трпл}} = \frac{F_{\text{трпл}} V_F}{l_{\text{к}} \rho^B}$; $l_{\text{к}}$ – довжина зони контакту різця зі стружкою по передній поверхні; $F_{\text{трпл}} = N r M = M r s t r t r s r z g m_c$; де s_T – границя текучості матеріалу деталі; t і s – глибина і подача при різанні; z – коефіцієнт усадки стружки; m_c – показник політропи стиску; $G[T]$ – модуль пружності матеріалу деталі; M – коефіцієнт Пуассона матеріалу деталі; α – температурний коефіцієнт розширення матеріалу.

Баланс тепла у об'ємі інструмента схожий з виразом (1), тільки усі коефіцієнти вибрано стосовно матеріалу інструмента.

Запропонована модель дозволяє одержати не тільки поле температур та напружень у тілі інструмента з покриттям та знайти умови пружного сколу матеріалу інструмента, але й визначити знос інструмента на передній та задній поверхнях, що свідчить про великі можливості запропонованої моделі.

Третій розділ присвячено експериментальному дослідженню стійкості РІ з покриттям та комбінованим зміцненням (лазерно-плазмово-іонна обробка).

У першій частині досліджується комбіноване зміцнення, реалізоване на базі промислової плазмово-іонної установки “Булат-6” та лазерів ЛТІ-502 і “Квант-12”, а також створених пристроїв, що допомагають забезпечити подання потоку електронів на деталь та негативного потенціалу на підкладку для забезпечення іонного очищення та азотування поверхневого шару деталі.

Для обробки поверхні деталей, що знаходяться у вакуумній камері іонно-плазмової установки з лазерним променем, розроблено механізм сканування лазерного променя з щільністю потужності у межі $1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$. При цьому діаметр плями був 0.2-0.5мм. За основу було обрано механізм горизонтального та вертикального переміщення електромеханічного маніпулятора “Електроніка НЦТМ-01”.

При застосуванні у ролі приводів двигунів постійного струму з гальмами та фотодавачами зворотного зв'язку, які визначають величину переміщення робочого органу (каретки чи штанги), можна використати уніфікований пристрій циклічного керування УЦМ-663. Циклова система керування забезпечує дискретну траєкторію руху.

У цьому розділі також описані результати дослідження впливу лазерного випромінювання (ЛВ) на поверхню зразків із сталі 20, 12ХН3А та Р6М5 до та після нанесення покриття з нітриду титану.

Переміщення променя по поверхні відбувається зі швидкістю 0.2-50м/с, розмір поля обробки – квадрати 10х10мм, діаметр світлової плями – 0.32мм, частота слідування імпульсів – 5кГц, щільність теплового потоку – $7.5 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^2$.

Морфологію плівки з нітриду титану вивчали на оптичному мікроскопі “NEOFOT”, мікротвердість на мікротвердомірі ПМТЗ, а склад поверхневого шару – на рентгенівському дифрактометрі “Дрон - 3” у випромінненні CO_2 в кутовому діапазоні від 30 до 160° .

Дослідження довели, що обробка нітридної плівки ЛВ має максимальне підвищення мікротвердості при розфокуванні пучка $Df = -(2-2/5)$ (рис.1.).

Дослідження дифрактограми свідчить про те, що у титановому покритті відбуваються хімічні перетворення – створюється карбід титану, вигоряє первинний титан та виникають сліди Fe_2O_3 , Fe_2O_4 . Топографія покриття повторює топографію підкладки, має велику кількість дефектів. У всіх випадках спостерігалось зниження мікротвердості покриття, що наносилося на підкладки, оброблені ЛВ.

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

Мікроструктуру покриття з нітриду титану, нанесеного на поверхню, оброблену ЛВ: сталь 20, швидкорізальна сталь Р6М5К5, показано на рис.2 та рис.3 відповідно. Поведінка зразків з покриттям не змінювалася і через два місяці після нанесення покриття.

При обробці ЛВ раніш за напил плівки у діапазоні розфокусування $Df=(1.5-2.5)$ мм відбувається диспергування а-фази. З підвищенням температури підкладки з'являється зона з адгезією, достатньою для утримання плівки.

Другою частиною експериментального дослідження є розгляд методики прогнозування періоду стійкості спіральних свердел на базі установки, зібраної з універсально-свердлильного верстату моделі 2А135 та стандартного тензометричного динамометру УДМ-100. Зразки обиралися з титанового сплаву ВТ22.

Рис. 4

У ролі критерію зносу розглядалися: максимальна ширина площадки зносу по задній поверхні W1; ширина площадки зносу на половині довжини леза W2; W3 та W4 – параметри зносу поперечного леза; довжина зносу по стрічці (рис.4). У наведеному експерименті спостерігається зниження інтенсивності зносу по задній поверхні спіральних свердел з покриттям та ЛВ у 2-3 рази від свердел тільки з покриттям. На базі установки, що створена з верстата моделі 1А62 та вимірювальної системи різання та зносу, було проведено дослідження стійкості пластин з твердого сплаву після лазерно-плазмово-іонної обробки. Дослідження показало, що ЛВ до чи після нанесення покриття підвищує стійкість пластин з ТТ1-К8Б з покриттям з TiN та ZrN до 2.7-3 разів. Лазерна обробка пластини до нанесення покриття дозволяє підвищити зносостійкість у 6-6.3 разів, а тільки нанесення покриття у 1.7-7 разів.

У цьому розділі також показано перспективу використання покриття з окислу алюмінію для підвищення зносостійкості РІ. Найбільш підходить для покриття а-фаза окислу алюмінію, що має високу міцність, термічну та хімічну стійкість при високих температурах. З цим покриттям не відбувається фазових перетворень ні при нагріванні, ні при охолодженні. Суттєвим недоліком їх а-фази є крихкість та низька механічна міцність. Цей недолік легко усунути, перемежуючи прошарки з низькою твердістю прошарком з високою твердістю, моделюючи покриття з потрібними властивостями.

Нанесення покриття з окису алюмінію здійснюється за методом КІБ, який включає випарювання алюмінію з катоду електричною вакуумною дугою у присутності кисню та конденсації на підкладці, що супроводжується іонним бомбардуванням продуктів реакції парами алюмінію та кисню.

Зносостійкість та працездатність швидкорізального інструменту з покриттям з окису алюмінію виявилася близькою до твердосплавного інструмента.

Четвертий розділ присвячено створенню експериментально-теоретичної методики прогнозування стійкості РІ у залежності від технологічних параметрів установок.

Для цього було проведено дослідження впливу технологічних параметрів установок на такі якісні характеристики матеріалу РІ:

- мікротвердість поверхневого шару РІ, яка корелює з зносостійкістю, адгезією, а як наслідок зі стійкістю РІ;
- шорсткість оброблюваної поверхні, яка визначає технічні характеристики поверхні (коефіцієнт тертя), та як наслідок, суттєво впливає на стійкість РІ;

- міцність зчеплення покриття (адгезія, когезія) та міцнісні характеристики матеріалу після обробки, що впливає на стійкість РІ;
- зносостійкість РІ;
- окислення матеріалу, оскільки використання ЗОТС та великі температури у процесі різання сприяють окисленню матеріалу РІ.

На експериментальній основі одержано залежність мікротвердості поверхневого шару іонно-плазмового покриття від напруги на підкладинці, тиску реактивного газу (рис.5), температури обробки. Знайдено також залежності мікротвердості при лазерній обробці від щільності теплового потоку, що створено лазерним випроміненням, та від швидкості переміщення деталі відносно променя. Для випадку імпульсної дії одержана залежність мікротвердості від частоти проходження імпульсів та глибини зміцненого шару від швидкості переміщення променя.

Представлено залежність шорсткості поверхні деталі при іонно-плазмовій обробці від енергії іонів, тиску реактивного газу, товщини покриття. Подано залежності шорсткості від щільності теплового потоку, швидкості переміщення променя, тиску реактивного газу для безперервного випромінення.

Шорсткість при імпульсних методах обробки наведена залежно від тривалості імпульсу, частоти слідування імпульсів, кількості імпульсів, що діють в одному місці.

Рис. 5

Рис. 6

Одержано залежності адгезійної міцності покриття від початкової шорсткості, температури при нанесенні покриття; для іонної імплантації та іонного легування – від дози опромінення; для світлопроменевих технологій – від щільності теплового потоку. На окислюваність при плазмово-іонній обробці суттєво впливає товщина покриття (рис.6).

Одержано залежності зносостійкості матеріалу від напруги на підкладинці, величини товщини покриття, тиску реактивного газу. Показано, як, використовуючи залежності мікротвердості від технологічних параметрів, знайти ці залежності для зносостійкості.

П'ятий розділ присвячено створенню моделі розрахунку продуктивності технологічних процесів при нанесенні покриття, світлопроменевої обробці та комбінованій обробці на матеріали РІ. На основі аналізу фізичних процесів, які визначають продуктивність,

одержано вираз для розрахунку швидкості зміни геометрії деталі.

Цей вираз враховує такі фактори: розпилення іонами, атомами перезарядки та електронами; радіаційно-стимульовану дифузію; впровадження іонів та атомів перезарядки; спокійне випаровування у вакуум; винос матеріалу у рідинній фазі під дією потоків іонів та електронів, винос матеріалу у рідинній фазі під дією імпульсних та світлопроменевих потоків, конденсація у паровій фазі; термopружне руйнування матеріалу у вигляді кластерів під дією іонів, електронів та дією імпульсних плазмових та світлопроменевих потоків; термовтомлене відшаровування під дією іонів, електронів та імпульсних плазмових та світлопроменевих потоків; дія електронних плям; плазмохімічні реакції; термохімічні реакції; попадання матеріалу у крапельній фазі; вплив попадання матеріалу у вигляді порошку.

У випадку присутності фактора коефіцієнт перед відповідним доданком прирівнюють одиниці, у разі його відсутності – нулю.

Запропонована методика розрахунку апріорної продуктивності дозволяє без складних розрахунків оцінювати продуктивність практично усіх технологічних процесів, використовуючих плазмові, іонні та електронні потоки, а також комбіновані технології зміцнення РІ.

Приклади реалізації лазерно-плазмово-іонної обробки приведені на рис.7- рис.11, де показано, що є можливість аналізу впливу різних технологічних та фізичних параметрів на продуктивність обробки та визначення режимів, які забезпечують максимальну продуктивність.

У шостому розділі показано взаємозв'язок між створеними моделями теплового та напруженого стану РІ з покриттям та зміцненим шаром, продуктивністю комбінованої технології, прогнозуванням якісних характеристик та вибором технологічних параметрів комбінованої обробки, а також реалізації технологічного процесу комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки РІ.

Рис. 9

Рис. 10

Рис. 11

Алгоритм вибору технологічних параметрів при лазерно-плазмово-іонній обробці запропоновано на рис.12:

1. Обирається основна функція мети залежно від функціональних особливостей деталей (максимальна продуктивність, мінімальна енергоємність, максимальна зносостійкість, мікротвердість, адгезія, втомлюваннісна міцність, мінімальна шорсткість та окислюваність).
2. Задається діапазон якісних характеристик (які не є функцією мети) та потрібної продуктивності (якщо вона не є функцією мети).
3. За діапазоном якісних характеристик визначають значення відповідних технологічних параметрів та технологічні параметри, які відповідають максимальному значенню функції мети.
4. Розраховується продуктивність комбінованої обробки, одержується діапазон фізичних параметрів (енергія частинок, щільність струму, щільність теплового потоку, час дії, швидкість переміщення, частота проходження імпульсів) або параметрів, відповідних максимальній продуктивності або мініимальному енергоспоживанню.

5. За фізичними параметрами технологічного процесу з використанням функції трансформації їх у технологічні можливо знайти технологічні параметри процесу.

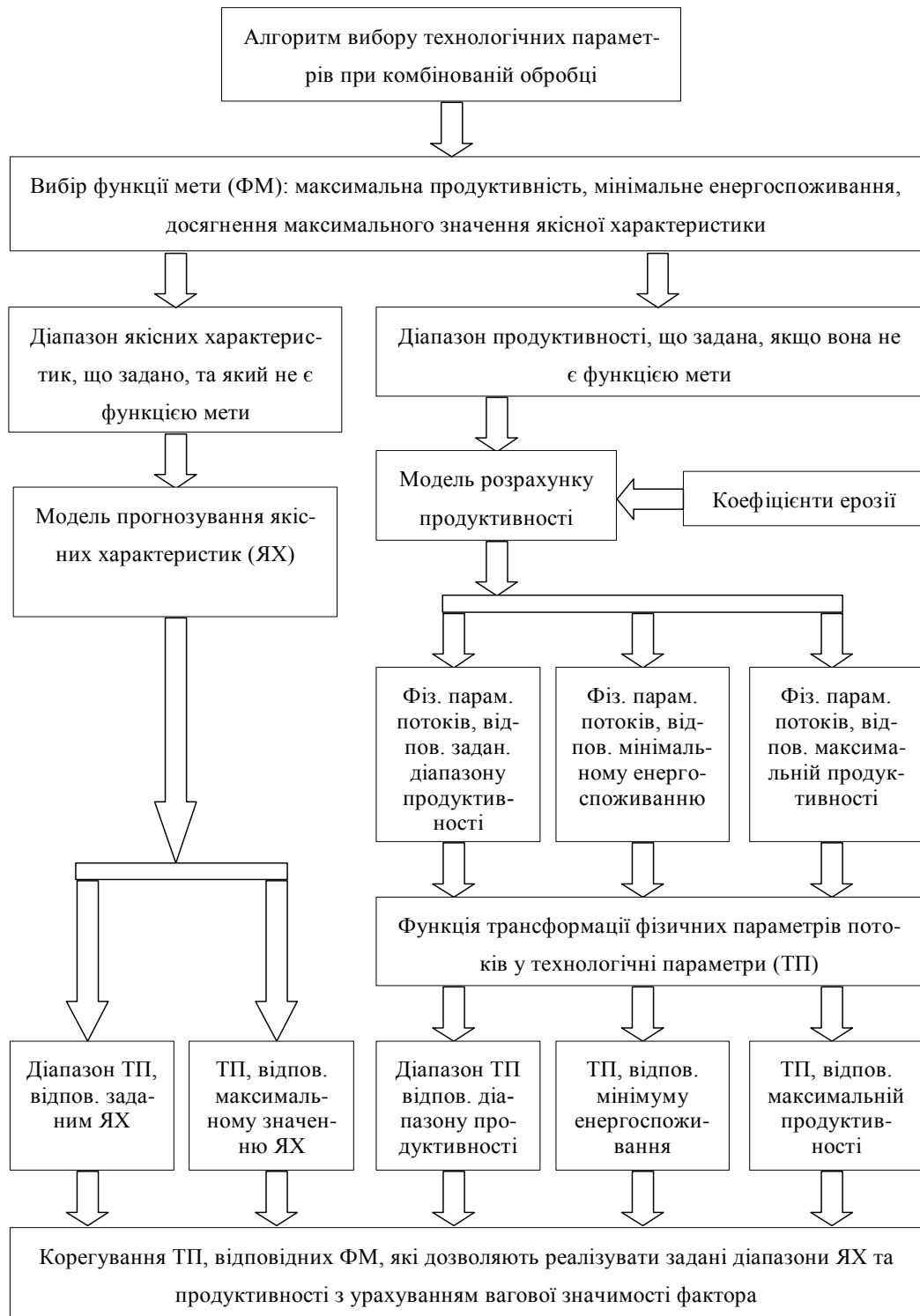


Рис. 12

6. Порівнюємо необхідні якісні характеристики з отриманим діапазоном з моделі прогнозування якісних характеристик та з моделі прогнозування продуктивності. Якщо не досягнуто узгодження цих параметрів, то корегуємо технологічні параметри до попадання у необхідний діапазон.

У додатках наведено таблиці відносного підвищення стійкості та вплив різних факторів та параметрів установки на мікротвердість; викладена програма розрахунку продуктивності та приклад технологічного процесу лазерно-плазмово-іонної обробки деталей, у яких використані попередні дослідження.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота "Підвищення стійкості РІ за рахунок комбінованої модифікації поверхневого шару та нанесення покриття" присвячена вирішенню важливої народногосподарської задачі- створенню фізико-технічних основ технологічних процесів комбінованої модифікації РІ на базі плазмово-іонної і світлопроменевої обробки і нанесення покриттів.

1. Створена модель теплового і напруженого стану РІ з покриттям і модифікованим шаром, яка дозволяє прогнозувати поля температур і напружень в тілі інструмента, що важливо для розв'язання питання про його стійкість та ефективність.

2. Проведене експериментальне дослідження стійкості РІ після комбінованої обробки і з покриттям показало реальну можливість підвищення стійкості свердел в 6-7 разів, а пластин в 7,3-8 разів. Виявлені перспективи застосування покриттів окислу алюмінію. Це дає можливість говорити про перспективність комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки для підвищення працездатності РІ.

3. Створена нова методика прогнозування цілої гама якісних характеристик матеріалу РІ і його стійкості залежно від технологічних параметрів установки, отримані наступні регресійні залежності:

- Мікротвердості поверхневого шару РІ при дії іонних, світлопромених і плазмових потоків від тиску реакційного газу; напруження на підкладці; температури, при якій працює покриття; часу, який пройшов після нанесення покриття, що пов'язано з частковою релаксацією залишкових напружень; щільності потоку, що створюється світлопроменевою установкою; швидкості переміщення променя або деталі відносно променя. Для випадку дії імпульсного випромінювання: величини енергії в імпульсі і частоти проходження імпульсів; глибини і ширини зони лазерного впливу (ЗВЛ), яка в свою чергу залежить від швидкості обробки, глибини і потужностей випромінювання.
- Шорсткості поверхні, що визначає технічні характеристики поверхні (коефіцієнт тертя) залежно від величини енергії бомбардуючих часток і пов'язаною з нею величиною потенціалу на підкладці; величини струму; величини шорсткості до обробки; тиску реакційного газу; товщини покриття; щільності теплового потоку; швидкості обробки; тиску газу в зоні обробки. Для випадку дії імпульсного випромінювання - від тривалості імпульсу, величини числа імпульсів, діючих в одній плямі, і частоти спрацювання лазера;
- Зносостійкості поверхневих шарів від потенціалу підкладки; тиску газу в камері. Для випадку імплантації іонів і іонного легування зносостійкість залежить від дози опромінення.
- Стійкості РІ від величини напруження на підкладці, тиску реакційного газу, товщини покриття.
- Окислюваності залежно від товщини покриття. При іонній імплантації - від дози опромінення.

4. Розроблена методика прогнозування продуктивності комбінованої обробки на основі нанесення плазмово-іонних покриттів і світлопроменевої обробки, що дозволяє знайти режими з максимальною продуктивністю і мінімальним енергоспоживанням.

5. Розроблена методика вибору технологічних параметрів установки дозволяє отримати максимально ефективний один із параметрів (стійкість РІ, продуктивність і мінімальне енергоспоживання) і наблизити до максимально можливих знижень інших (стійкість,

корозійну стійкість, мікротвердість, шорсткість і інші).

б. Розроблені методики прогнозування якісних характеристик, розрахунку продуктивності, алгоритм вибору технологічних параметрів, модель теплового і напруженого стану закладають фізико-технічні основи комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки, що в перспективі дає можливість створення автоматизованого робочого місця технолога, який реалізував би комбіновані технології.

Список опублікованих праць здобувача за темою дисертації

1. Е.Г. Костюк. Исследование стойкости режущего инструмента с покрытием в зависимости от геометрических и технологических параметров установки. // Международный научно-технический сборник "Резание и инструмент в технологических системах" №51, Харьков ХГПУ, 1997г., с.253-255.
2. А.А. Белоусов, А.И. Грабченко, Г.И. Костюк, Е.Г. Скорик (Костюк). Методика прогнозирования производительности ионно-лучевых, плазменно-ионных, лазерных, лазерно-плазменно-ионных и других комбинированных технологий и методика сравнения установок для их реализации. // "Авиационно-космическая техника и технология". Труды Харьковского авиационного института им. Н.Е. Жуковского, Харьков-Рыбачье, 1998г., стр.23-33.
3. Е.Г. Костюк, И.Ш. Невлюдов. Особенности теплового и напряженного состояния режущего инструмента (РИ) с покрытием и упрочненным слоем в процессе механической обработки. // "Авиационно-космическая техника и технология". Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е Жуковского "ХАИ", вып 14, Харьков, 2000г., стр.220-222.
4. Е.Г. Костюк, И.Ш. Невлюдов. Физико-техническое обеспечение технологического процесса нанесения покрытия из окиси алюминия для повышения стойкости режущего инструмента. // "Авиационно-космическая техника и технология". Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е Жуковского "ХАИ", вып. 14, Харьков, 2000г., стр. 223-225.
5. А.А. Белоусов, П.Н. Васильков, А.И.Грабченко, Г.И. Костюк, Л.В. Лобанова, Н.В. Руденко, Е.Г. Скорик (Костюк). Прогнозирование зависимости микротвердости от технологических параметров установок при плазменно-ионной, светолучевой и комбинированной обработке. // "Авиационно-космическая техника и технология". Труды Харьковского авиационного института им. Н.Е. Жуковского, Харьков-Рыбачье, 1998г., стр. 436-446.
6. А.А. Белоусов, Г.И. Костюк, А.А. Некрасов, Е.Г. Скорик (Костюк). Прогнозирование технологических параметров плазменно-ионной, ионно-лучевой, свето-лучевой и комбинированной обработки, обеспечивающих требуемую стойкость инструмента. // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Харьковского авиационного института им. Н.Е. Жуковского, Харьков, 1997г.,с.54-60.
7. А.И. Грабченко, Г.И. Костюк, Е.Г. Скорик (Костюк). Коэффициент трения инструментальных и конструкционных материалов с покрытием. // В кн.: Матер. 5-й Междунар. конф. "Новые технологии в машиностроении" Изд-во АИНУ, 1996г., Харьков-Рыбачье, с.46-50.
8. О.О. Баранов, Г.В. Горбенко, В.Г. Приезжев. Е.Г. Скорик (Костюк). Экспресс-оценка характеристик быстрорежущего инструмента, обработанного методами комбинированных технологий. // В кн.: Матер. 4-й Междунар. конф. "Новые технологии в машиностроении" Изд-во АИНУ, 1995г., Харьков-Рыбачье, с.197.

АНОТАЦІЇ

Костюк О.Г. Підвищення стійкості різального інструмента за рахунок комбінованої модифікації поверхневого шару та нанесення покриття. Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 “Процеси механічної обробки, верстати та інструменти”.
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2001.
Дисертаційна робота присвячена дослідженню і розробці комбінованої лазерно-плазмово-іонної технології обробки різального інструмента на основі лазерної модифікації поверхневого шару РІ, нанесення плазмово-іонного покриття з наступною його обробкою лазерним методом в єдиному технологічному процесі. Робота припускає рішення ряду практичних задач, а саме: розробку теоретичної моделі теплового і напруженого стану різального інструмента з покриттям і зміцненим шаром; створення експериментальної установки і проведення експериментальної перевірки можливості реалізації комбінованої технології, а також експериментального дослідження стійкості РІ; розробку методики прогнозування якісних характеристик РІ (мікротвердості, шорсткості, зносостійкості, адгезійної міцності) у залежності від технологічних параметрів установки; створення інженерної методики розрахунку продуктивності технологічних процесів при нанесенні покриттів, світлопроменевої і комбінованої обробці; розробку і впровадження технологічного процесу комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки РІ.
Наукова новизна дослідження полягає в тому, що вперше було встановлено залежність впливу технологічних параметрів установок на якісні характеристики РІ; розроблена нова фізична модель теплового та напруженого стану РІ; створена методика прогнозування продуктивності комбінованої лазерно-плазмово-іонної обробки РІ; розроблена нова комбінована лазерно-плазмово-іонна технологія обробки РІ та представлено технологічний процес, що її реалізує.

Ключові слова: лазерно-плазмово-іонна обробка, поверхневий шар, лазерне опромінення, зносостійкість, мікротвердість, шорсткість, адгезійна міцність РІ.

Костюк Е.Г. Повышения стойкости режущего инструмента за счет комбинированной модификации поверхностного слоя и нанесения покрытия. Рукопись.
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01. “Процессы механической обработки, станки и инструменты”.
Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2001.
В настоящее время к режущему инструменту (РИ), работающему в сложных эксплуатационных условиях одновременного действия статических, динамических и термоциклических нагрузок, высоких температур, а также агрессивной среды, предъявляются повышенные требования к долговечности и надежности. Все это обуславливает повышенные требования к поверхностным слоям режущих инструментов, улучшение свойств которых обычно реализуется одной из ныне существующих технологий. Применение комбинирования нескольких существующих технологических процессов в одном процессе открывает перспективу существенного повышения качественных характеристик деталей.
Диссертационная работа посвящена исследованию и разработке комбинированной лазерно-плазменно-ионной обработки режущего инструмента на основе лазерной модификации поверхностного слоя РИ, нанесения плазменно-ионного покрытия с последующим его отжигом лазерным методом в одном технологическом процессе. Работа предполагает решение ряда практических задач, а именно: разработку теоретической модели теплового и напряженного состояния режущего инструмента с покрытием и модифицированным поверхностным слоем; создание экспериментальной установки и проведение экспериментальной проверки возможности реализации комбинированной технологии, а также экспериментального исследования стойкости РИ; разработку

методики прогнозирования качественных характеристик РИ (микротвердости, шероховатости, износостойкости, адгезии) в зависимости от технологических параметров установки; создание инженерной методики расчета производительности технологических процессов при нанесении покрытий, светолучевой и комбинированной обработке; разработку и внедрение технологического процесса комбинированной лазерно-плазменно-ионной обработки РИ.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые установлены закономерности влияния технологических параметров установки на качественные характеристики РИ; разработана новая физическая модель теплового и напряженного состояния РИ; создана методика прогнозирования производительности комбинированной лазерно-плазменно-ионной технологии обработки РИ; разработана новая комбинированная лазерно-плазменно-ионная технология обработки режущего инструмента и представлен технологический процесс ее реализующий.

Все это позволяет применять в промышленных условиях разработанный технологический процесс комбинированной лазерно-плазменно-ионной обработки и обеспечить максимальную производительность, а также требуемый диапазон качественных характеристик (стойкость РИ повышается в 7-8 раз). Созданная методика прогнозирования производительности комбинированной обработки позволяет расчетным путем получить производительность плазменно-ионного напыления, лазерного упрочнения, лазерной размерной обработки и комбинированной обработки.

Проведенное комплексное исследование позволяет заложить физико-технические основы комбинированных лазерно-плазменно-ионных технологий, которые могут быть положены в основу автоматизированного рабочего места (АРМ) технолога и с успехом могут быть использованы для обработки деталей в различных отраслях промышленности, общего машиностроения, при производстве режущего инструмента и при производстве товаров народного потребления.

Достоверность результатов теоретических исследований проверена экспериментально, получено удовлетворительное согласие результатов расчетов и опытов.

Результаты работы, методики, модели реализованы в виде прикладных программ и используются при создании технологических процессов комбинированной лазерно-плазменно-ионной обработки РИ и деталей авиаагрегатов на научно-производственной корпорации ФЭД, а также в учебном процессе кафедры "Физико-технических основ обработки конструкционных материалов" Национального аэрокосмического университета Украины им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт" и кафедры "Резание материалов и режущий инструмент" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт".

Ключевые слова: лазерно-плазменно-ионная обработка, поверхностный слой, лазерное излучение, износостойкость, микротвердость, шероховатость, адгезионная прочность, стойкость режущего инструмента.

Kostyuk E.G. Increasing the cutting tool durability at the expense of combined modification of the surface layer and coating application.

Thesis for a Candidate Degree of 05.03.01 Specialty "Processes of the machining, machine tools and tooling".

National Technical University "Kharkov Polytechnic University", Kharkov, 2001.

This Thesis is concentrated upon investigation and development of a combined laser-plasma-ion technology for cutting tool treatment on the basis of laser modification and plasma-ion coating application followed by the laser treatment involved in the same technological process. The work assumes solving the following practical problems: development of a theoretical model for

heat and stressed states of the cutting tool with the applied coating and strengthened layer; designing the experimental equipment and experimental testing the program is possibility of a combined technology realization, and experimental studying the tool wear resistance; development of a technique for forecasting the cutting tool quality characteristics (microhardness, roughness, wear resistance, and adhesion) as a function of the equipment parameters; creation of an engineering technique for the technological process productivity calculation during the coatings application, as well as in the light-beam and combined treatment; development and introduction into production the technological process of combined laser-plasma-ion technology of the cutting tool treatment.

The scientific novelty of the Thesis consists in establishing the regularities of the equipment technological parameters influence upon the cutting tool quality characteristics; development of a new physical model of the cutting tool heat and stressed states; development of the methods for predicting the productivity of a combined laser-plasma-ion technology for cutting tool treatment; development of a new combined laser-plasma-ion technology for cutting tool strengthening and the corresponding technological process.

Key Words: laser-plasma-ion treatment, the surface layer, laser radiation, wear resistance, microhardness, roughness, adhesion strength, cutting tool durability.

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Русанов В.В.

Підписано до друку 19.02.2001 р. Формат видання 145x215

Формат паперу 60x90 1/16.

Обсяг 0,9 д. п. Тираж 100. Зам. №

Папір офсетний. Друк офсетний. Типографія ХАІ.

61070 Харків, вул. Чкалова, 17