

УДК 621.735.3:621.73.01-02

Каргін Б. С., Вороніна Н. А

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ШТАМПОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

*Досліджено вплив поверхнево-плазмового зміцнення (ППЗ) на зносостійкість, твердість поверхневого шару і структуру сталей У10 і Х12МФ. Випробування проводили на плазмотроні побічної дії (розробка ДВНЗ «ПДТУ»), що працює на інертній газі аргоні. Зносостійкість оцінювали після випробування зразків на спеціальному пристрої «тертя металу по металу». Час випробувань на зносостійкість склало від 15 до 150 хв. Встановили, що ППЗ забезпечує підвищення експлуатаційного ресурсу штампного інструменту в порівнянні з традиційною базовою технологією зміцнення (загартуванням). Зокрема, твердість поверхні металу збільшується на 100 – 120 НВ, зносостійкість підвищується в 3 рази, а структура зони, зміцненої сталі. Показано, що якісно новий рівень експлуатаційних властивостей штампного сталей досягається при обробці висококонцентрованими джерелами нагріву. Завдяки локальному і надшвидкісному потужній термічній обробці при ППЗ створюється можливість отримання більш високих значень зносостійкості і твердості в порівнянні з об'ємною загартовуванням. У роботі приведена схема плазмового технологічного комплексу, розробленого і випробуваного в ДВНЗ «ПДТУ», зазначені розміри і матеріал зразків для випробувань, дані фотографії структури сталей У10 і Х12МФ після загартовування і поверхнево-плазмового зміцнення. У таблицях наведені результати по визначенню твердості зразків і результати випробувань на зносостійкість. Встановлено, що результати структурного аналізу зразків аналогічні тим, що були отримані професором С. С. Самоутугіним.*

**Ключові слова:** плазмове зміцнення, сталь, штамп, випробування, знос, твердість, структура, зносостійкість, гарт.

**Постановка проблеми.** Незадовільна стійкість штампного інструменту в ковальсько-штампувальному виробництві призводить до значних простоїв обладнання, пов'язаних із заміною інструменту і налаштуванням пресів, тому вирішення питань, пов'язаних з підвищенням стійкості штампного інструменту є досить актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зміцнення ріжучого інструменту і інструментів для холодної обробки металів тиском (операції вирубки-пробивання) дозволяє значно підвищити стійкість штампів.

Існує безліч різних способів зміцнення штампів. Одним з них є плазмове зміцнення. Якісно новий рівень експлуатаційних властивостей сталей досягається при обробці висококонцентрованими джерелами нагріву. Завдяки локальному і надшвидкісному тепловому впливу створюється можливість отримання більш високих значень твердості, міцності, в'язкості в порівнянні з об'ємним загартовуванням і традиційними засобами поверхнево-плазмового зміцнення. Це обумовлено, перш за все, наявністю в поверхневому шарі високодисперсної метастабільної структури [1-3].

**Мета роботи** - дослідити вплив плазмового поверхневого зміцнення (ППЗ) на властивості штампового інструменту. Зокрема, встановити вплив ППУ на зносостійкість, твердість, структуру вуглецевих і низьколегованих інструментальних сталей, застосовуваних для виготовлення матриць і пуансонів при холодному деформуванні.

**Основний матеріал дослідження.** Установа плазмового технологічного комплексу, створеного в ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», показана на рис. 1.

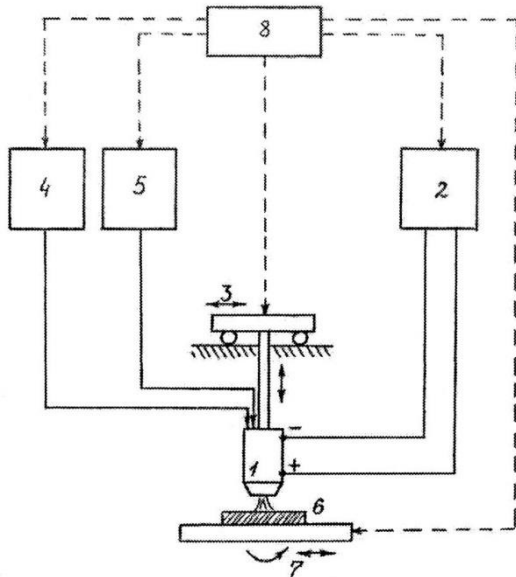


Рисунок 1 – Схема плазмового технологічного комплексу:

- 1 - плазмотрон; 2 - джерело живлення плазмового струменя; 3 - механізм переміщення плазмового струменя;
- 4 - система подачі плазмоутворюючого газу;
- 5 - система охолодження плазмотрона;
- 6 - оброблюваний виріб; 7 - механізм переміщення виробу; 8 - система автоматичного (комп'ютерного) контролю і регулювання технологічного процесу

Основним інструментом для здійснення процесу поверхневої модифікації є плазмотрон непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою (рис. 2), що працює на інертному газі і має оптимальні конструктивні параметри [4].

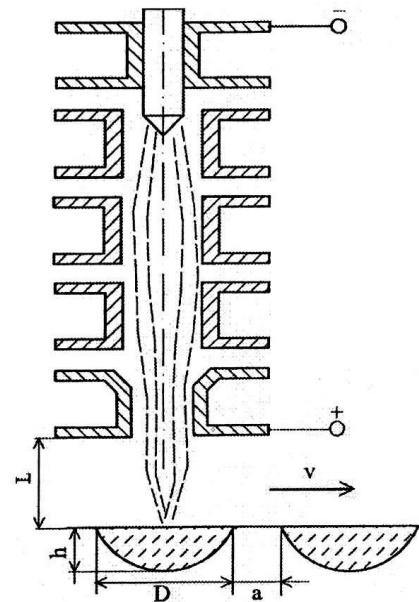


Рисунок 2 – Схема плазмотрона для поверхневої обробки

В якості вихідних зразків застосовувалися циліндри (матеріал зразків сталь Х12МФ (ГОСТ 5950-2000) і сталь У10 (ГОСТ 1435-99)) з розмірами  $D_0: h_0 = 50: 20$  мм. Для підвищення достовірності даних дослідження проводилися на зразках однакової маси і розмірів.

Експерименти були проведені в декілька етапів:

1. Об'ємний гарт зразків;
2. Аналіз структури зразків після гарту;
3. Поверхнево-плазмово зміцнення;
4. Вивчення структури зміцнених зразків;
5. Зміна твердості оброблених зразків;

6. Проведення дослідження зносостійкості зміцнених зразків.

На фотографіях (рис. 3, 4) можна спостерігати, що структура зони, зміцненої ППЗ, складається з мартенситу, залишкового аустеніту і карбідів, що за ступенем дисперсності значно перевершує структуру загартованої сталі.

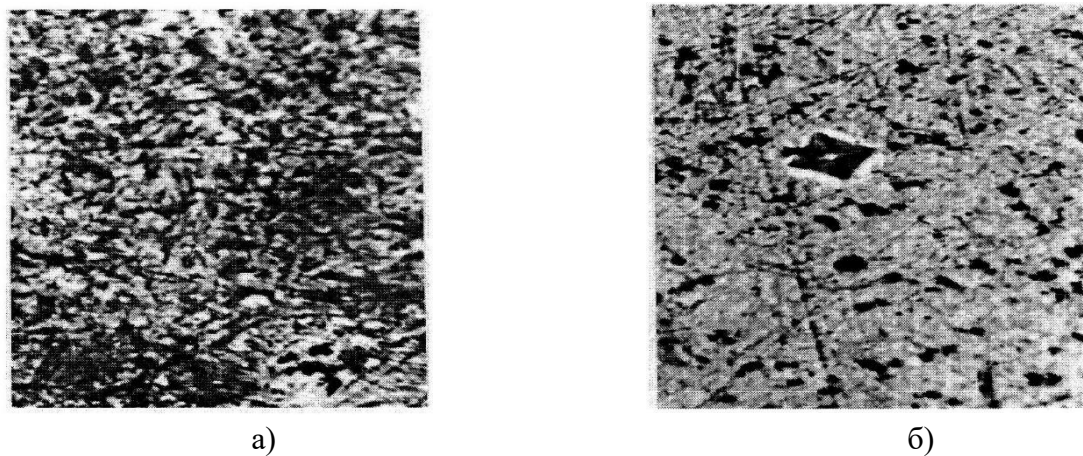


Рисунок 3 – Структура сталі У10 (збільшення  $\times 400$ ):  
а - після об'ємної гарту; б - після поверхневого плазмового зміцнення

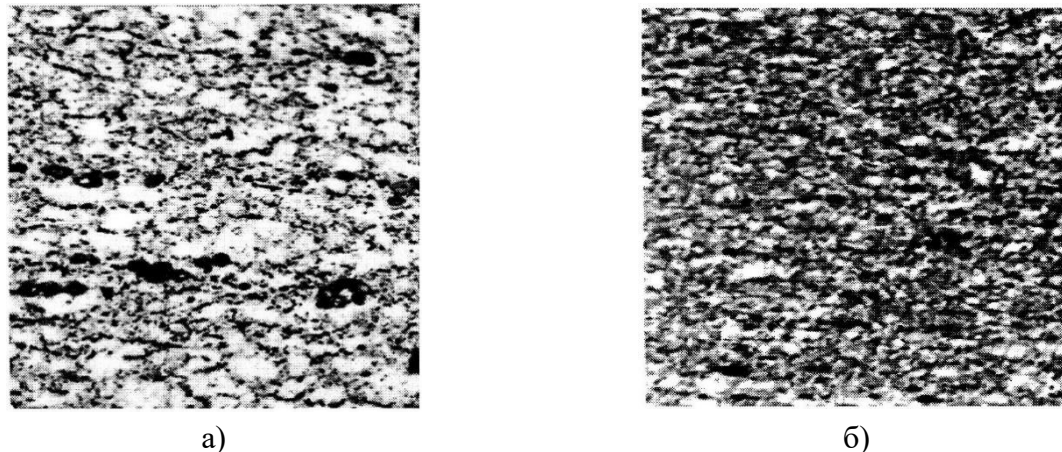


Рисунок 4 – Структура сталі Х12МФ (збільшення  $\times 400$ ):  
а - вихідна структура; б - після поверхневого плазмового зміцнення

Кількісною характеристикою зносостійкості в даній роботі є коефіцієнт зносостійкості, який визначали за відомою залежністю:

$$\hat{E}_z = \frac{\Delta m_1}{\Delta m_2}, \quad (1)$$

де  $\Delta m_1$  і  $\Delta m_2$  - відповідно втрати в масі досліджуваного зразка-еталона і зміцненого зразка при терті в заданих умовах протягом заданого часу.

Твердість зразків визначали після об'ємної гарту в маслі і після ППЗ. Дані представлені в таблиці 1.

## Машинобудування і зварювальне виробництво

Дослідження зносостійкості зразків проводили на спеціальній установці «тертя металу по металу». Час випробувань на зносостійкість знаходилося в межах від 15 до 150 хв.

Таблиця 1 – Результати по визначенню твердості зразків

Марка сталі	загартування		Режим плазмової обробки		Твердість HV		
	t <sub>з</sub> , °C	охолоджуюче середовище	I, A	V × 10 <sup>-3</sup> м/с	В початковому стані	Після об'ємного гарту	Після плазмової обробки
У10	800	масло	400	7,0	205-220	740-755	865-885
X12МФ	1050	масло	400	8,3	250-265	730-750	850-865

Таблиця 2 – Результати випробувань на зносостійкість (сталь У10)

Вид зміцнення	Час, хв.									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
загартування	1,20	1,17	1,15	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	1,02	1,00
ППЗ	4,32	4,30	4,29	4,27	4,22	4,19	4,10	4,04	3,99	3,95

Таблиця 3 – Результати випробувань на зносостійкість (сталь Х12МФ)

Вид зміцнення	Час, хв.									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
загартування	1,23	1,21	1,19	1,17	1,11	1,08	1,06	1,04	1,03	1
ППЗ	3,55	3,53	3,5	3,48	3,46	3,43	3,39	3,35	3,34	3,3

Результати випробувань на зносостійкість сталі У10 і Х12МФ показали, що при поверхнево-плазмовому зміцненні (ППЗ) відбувається значне підвищення зносостійкості приблизно в 3 рази. Проведений аналіз твердості дозволив встановити, що при ППЗ твердість поверхні зразків збільшується на 100 - 120 НВ на глибину до 1,5 мм. Це обумовлено утворенням в зміцненій зоні мартенситу переважно пластинчастої морфології з надвисоким ступенем дисперсності. Надшвидкісне нагрівання та охолодження при плазмовому гарту призводить до підвищення дефектності структури, оскільки посилюються фазовий наклеп, гальмуються процеси відпочинку і рекристалізації, і більш повно успадковуються дефекти γ - фази. При цьому відбувається подрібнення блоків, підвищення щільності дислокації і збільшення мікронапруг в кристалічній решітці. Швидкісний плазмовий нагрів до околосолідусних температур викликає також більш інтенсивне, ніж при об'ємному загартуванню, розчинення карбідної фази і додаткове насичення твердого розчину вуглецем і легуючими елементами. У той же час при охолодженні з твердого розчину виділяються високодисперсні карбідні частинки, рівномірно розподілені в мартенситній матриці. Це свідчить про частковий самовідпуск мартенситу. Аналогічні результати по аналізу структури були представлені в роботі С. С. Самотугіна [4, 5].

## ВИСНОВКИ

Поверхнево-плазмове зміцнення штампового інструменту забезпечує підвищення експлуатаційного ресурсу в порівнянні з базовою технологією зміцнення (загартуванням).

*Список використаних джерел:*

1. *Самотугин, С. С.* Влияние конструктивных параметров плазмотрона на эффективность поверхностного упрочнения инструментов / *С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. А. Мазур* // Тезисы докладов IX региональной научно-технической конференции. – Мариуполь, 2002. – Т. 1. – С. 137–138.
2. *Кухтаров, В. И.* Холодная штамповка / *В. И. Кухтаров*. – М. : Машгиз, 1956. – 175 с.
3. Плазменное поверхностное упрочнение / *Л. К. Лецинский [и др.]*. – К. : Техника, 1990. – 109 с.
4. Материаловедение : учебник для высших технических заведений / *Б. Н. Арзамасов [и др.]*. – М. : Машиностроение, 1986. – 302 с.
5. *Самотугин, С. С.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов / *С. С. Самотугин, Л. К. Лецинский*. – Донецк : Новый мир, 2002. – 338 с.

**Каргин Б. С., Воронина Н. А.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

*Исследовано влияние поверхностно-плазменного упрочнения (ППУ) на износостойкость, твердость поверхностного слоя и структуру сталей У10 и Х12МФ. Испытания проводили на плазмотроне косвенного действия (разработка ГВУЗ «ПГТУ»), работающем на инертном газе аргоне. Износостойкость оценивали после испытания образцов на специальном устройстве «трение металла по металлу». Время испытаний на износостойкость составило от 15 до 150 мин. Установили, что ППУ обеспечивает повышение эксплуатационного ресурса штампового инструмента по сравнению с традиционной базовой технологией упрочнения (закалкой). В частности, твердость поверхности металла увеличивается на 100 – 120 НВ, износостойкость повышается в 3 раза, а структура зоны, упрочненной стали. Показано, что качественно новый уровень эксплуатационных свойств штамповых сталей достигается при обработке высококонцентрированными источниками нагрева. Благодаря локальному и сверхскоростному тепловому воздействию при ППУ создается возможность получения более высоких значений износостойкости и твердости в сравнении с объемной закалкой. В работе приведена схема плазменного технологического комплекса, разработанного и испытанного в ГВУЗ «ПГТУ», указанные размеры и материал образцов для испытаний, даны фотографии структуры стали У10 и Х12МФ после закалки и поверхностного плазменного упрочнения. В таблицах приведены результаты по определению твердости образцов и результаты испытаний на износостойкость. Установлено, что результаты структурного анализа образцов аналогичны тем, что были получены профессором С. С. Самотугиным.*

**Ключевые слова:** *плазменное упрочнение, сталь, штамп, испытание, износ, твердость, структура, износостойкость, закалка.*

**Kargin B. S., Voronina N. A.**

## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SURFACE-PLASMA HARDENING ON THE WEAR RESISTANCE OF A PUNCH TOOL**

*The effect of surface-plasma hardening (SPH) on the wear resistance, hardness of the surface layer and the structure of U10 and Kh12MF steels is investigated. The tests were carried out on an indirect plasma torch (developed by the Pryazovskyi State Technical University) operating on an inert argon gas. Wear resistance was evaluated after testing the samples on a special device "metal-to-metal friction". The wear test time ranged from 15 to 150 minutes. It was found that PPU provides an increase in the operational life of a stamping tool in comparison with the traditional basic technology of hardening (hardening). In particular, the hardness of the metal surface increases by 100 – 120 HB, the wear resistance increases by 3 times, and the structure of the zone of hardened steel. It is shown that a qualitatively new level of operational properties of stamped steels is achieved by processing with highly concentrated heat sources. Due to the local and ultra-high-speed thermal effects during PUF it is possible to obtain higher values of wear resistance and hardness in comparison with volume hardening. The paper gives a diagram of a plasma technological complex developed and tested at the Pryazovskyi State Technical University, the indicated dimensions and material of test samples, photographs of the structure of U10 and Kh12MF steel after quenching and surface plasma hardening are given. The tables show the results for determining the hardness of the samples and the results of tests for wear resistance. It was established that the results of the structural analysis of the samples are similar to those obtained by Professor S. S. Samotugin.*

**Keywords:** *plasma hardening, steel, bars, test, wear, hardness, structure, wear resistance, hardening.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.  
Стаття надійшла 09.11.2020 р.*