

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАКУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Романюк С.П.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка*

*Виконано дослідження, які спрямовані на підвищення експлуатаційної стійкості ріжучого інструменту з високовуглецевої інструментальної сталі X12, який використовується в пакувальних машинах типу MC1DT-T (MC Automations, Італія). Запропоновано магнітний метод неруйнівного контролю для оцінки стану металу інструмента в процесі експлуатації. Для підвищення стійкості та стабілізації поверхневого робочого шару розроблені оптимальні параметри технології нанесення наноструктурного покриття ZrN вакуумно-дуговим методом з використанням ВЧ - розряду і зміцненням з 4 сторін інструменту.*

*Зіставно вивчені характеристики зносу вихідних пакувальних ножів і з покриттям ZrN. Встановлено, що використаний спосіб підвищення експлуатаційної стійкості інструмента суттєво покращив трибологічні характеристики поверхневого шару.*

*Завдяки застосуванню додаткового зміцнення інструмента наноструктурним покриттям ZrN в умовах експлуатації досягнуто збільшення стійкості в 14 разів.*

**Ключові слова:** *високовуглецева легована сталь, наноструктурне покриття, неруйнівний метод контролю, зміцнення інструмента, підвищення зносостійкості*

### Актуальність проблеми

Однією з фінальних складових кондитерського виробництва є пакувальні лінії цукерок у металізовану плівку. Термін служби інструмента залежить від якості металу, із якого виготовлений ніж, тобто від стабільності його структурних складових при експлуатації. Структура ножа містить велику кількість спеціальних карбідів. Під дією зовнішніх факторів від краю робочої поверхні виникають деградаційні процеси, які призводять до його руйнування.

Одним із шляхів попередження руйнуванню та стабілізації структурної складової є нанесення високостійкого покриття.

### Методи досліджень

Метою досліджень є спосіб підвищення експлуатаційної стійкості пакувального інструмента в процесі експлуатації за рахунок запобігання його руйнування.

### Аналіз досліджень і публікацій

В даний час існує ряд методів підвищення втомного ресурсу ріжучого інструмента [1-3]. Кожна технологія має свої переваги і їх використовують для виробів, що працюють в певних умовах експлуатації. Для підвищення довговічності тонкостінних ножів відомо використання зміцнюючої обробки вакуумно - дуговим методом із застосуванням високочастотного розряду в стаціонарному зовнішньому магнітному полі нанесенням нанопокриття товщиною до 50нм композицією 50% W + 50% С на поверхню ножа [4]. Зміцнюється уся ріжуча кромка, а на решті частини, виконується програмоване зміцнення шляхом перпендикулярно розташованих до лева смуг жорсткості, тобто забезпечується

принцип Шарпі, коли в м'якій матриці формуються запрограмовані тверді зони. Крім того, використовуються для зміцнення ножів у харчовому виробництві покриття, які отримували іонно-плазмовим методом у присутності ВЧ – розряду, це CrN товщиною 300 нм [5] та TiN загальною товщиною 0,9-3мкм [6]. Їх наносили з одного боку для забезпечення ефекту самозагострення. Однак, такі способи зміцнення не забезпечать необхідної стабілізації усього поверхневого шару, в якому виникають деградаційні процеси.

### Методика досліджень

У даній роботі проведено дослідження ріжучого інструмента для пакування цукерок, встановленого на машині для загортання MC1DT-T (виробництва Італії рис.1). Цей інструмент виготовлений з інструментальної високолегованої сталі X205Cr12KU (вітчизняний аналог - X12).

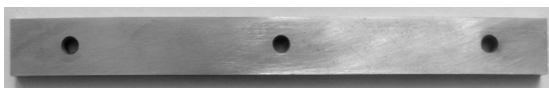


Рис.1. Зовнішній вигляд пакувального інструмента

Зміцненню піддавали усі 4 сторони ріжучого інструмента, так як нанесення покриття з 2 протилежних боків не дає бажаного результату за рахунок того, що виникають деградаційні процеси на незміцнених сторонах (покращення експлуатаційних показників тільки в 3 рази [7]). Для зміцнення використовували покриття, що складається з ZrN, нанесене іонно-плазмовим методом у присутності ВЧ - розряду. Для зміцнення інструмент підвішувався у центрі камери, а напilenня та очищення проводили з його обертанням. Для нанесення покриття ZrN у вакуумній камері був створений тиск не нижче  $1 \cdot 10^{-4}$  Торр. На тримач зразків подавався імпульсний потенціал амплітудою 1000 вольт і частотою 50 кГц. Обробку здійснювали в середовищі Ag до тиску  $5 \cdot 10^{-4}$  Торр. Запалювання вакуумної дуги становило 105 А. Очищення поверхні зразка іонами Zr проводили протягом 1,5 хв. Подача імпульсного потенціалу була знижена до -200 Вольт. Для кращої адгезії покриття ZrN з інструментом наносили підслою чистого Zr протягом 2 хвилин. Для отримання нанопокриття ZrN вакуумну камеру заповнювали азотом чистотою 99,99% до тиску в камері  $5,5 \cdot 10^{-3}$  Торр. Час напilenня нанопокриття ZrN становив 8 хвилин. Товщина нанесеного шару складала 4,5 мкм.

Для оцінки якості та стану металу інструмента перед нанесенням покриття використовували магнітний метод неруйнівного контролю. Визначення структурних змін металу ріжучого інструмента здійснювали по коерцитивній силі. Для оцінки якості ножів із залізобуглецевих сплавів вимірювали коерцитивну силу неруйнівним магнітним методом з використанням приладу КРМ-Ц (Коерцитиметр цифровий напівавтоматичний з мінімальним розміром перетворювача і перетином пластин магнітів - 5мм).

Триботехнічні випробування проводили на машині тертя СМЦ-1 за схемою «диск-колодка». На підставі проведених статистичних експериментів і літературних джерел [8,9] були обрані оптимальні параметри стендових випробувань на тертя та знос. Частота обертання роликів становила 43 хв-1. Постійне навантаження на зразок досягало 10 Н. Тривалість випробування одного зразка не перевищувала 8,3 хв. Умови випробувань - сухе тертя. В якості контртіла для зразків були вибрані ролики, які виготовлені зі сталі ШХ15. До і після випробувань фіксували вагу кожного зразка на лабораторних терезах марки WA-200. Робоча поверхня зразка -  $10 \times 8$  мм.

## Результати досліджень

Наносили покриття на поверхню інструмента до початку деградаційних процесів. Для цього здійснювали попередній контроль та оцінювали показники коерцитивної сили в різних його зонах. Зміцнювали інструмент при стабільних показниках коерцитивної сили або їх незначному підвищенні. Оцінювали даний показник неруйнівним магнітним методом цифровим напівавтоматичним коерцитиметром КРМ-Ц не менш як в п'яти зонах з кожної сторони з однаковим розташуванням перетворювача (рис.2). Середнє значення коерцитивної сили для інструмента зі сталі Х12 складає 56,0 Нс. Допустиме відхилення не повинне перевищувати 4-7%.

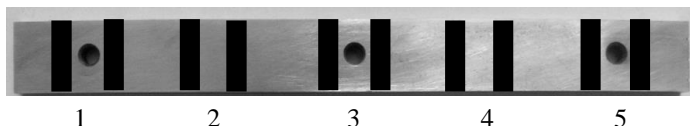


Рис.1. Ріжучий інструмент з зонами вимірювань

Використаний спосіб додаткового зміцнення інструмента наноструктурним покриттям ZrN суттєво підвищує трибологічні характеристики поверхневого шару (табл.1).

Таблиця 1

### Трибологічні характеристики

№	Зразок	Ширина доріжки тертя, мм	Момент тертя, Н·м	Коефіцієнт тертя
1	Покриття ZrN	0,37	1,5	0,13
2	Сталь Х12	0,42	3	0,27

Максимальне значення мікротвердості для покриття ZrN складає 23,4 ГПа при навантаженні 50г, в той час як для вихідного зразка не перевищує 6,1 ГПа. Після трибологічних випробувань покриття демонструє стабільність результатів мікротвердості з розкидом в значеннях не більше 9,38% та несуттєвим зниженням даного показника на 12,23%.

Нанесення такого покриття та своєчасний контроль деградації структури забезпечують підвищення механічних властивостей, дозволяє стабілізувати робочий поверхневий шар при деформації, перешкоджати подрібненню карбідної фази та розвитку дифузійних процесів. Проведені промислові випробування у кондитерському виробництві показали, що зміцнення ножів покриттям ZrN з чотирьох сторін забезпечує підвищення експлуатаційної стійкості ріжучого інструменту пакувального обладнання в 14 разів у порівнянні з ножами вихідного матеріалу та в 5 разів краще, ніж при зміцненні тільки з двох боків.

## Висновки

Для підвищення експлуатаційної стійкості і стабілізації структури інструменту із сталі типу Х12 запропоновано спосіб нанесення зміцнюючого покриття ZrN з чотирьох сторін ножа. Воно було отримано іонно-плазмовим методом у присутності ВЧ - розряду. Для запобігання передчасного руйнування та оцінки якості металу інструменту використовували магнітний метод неруйнівного контролю з визначенням коерцитивної сили. Проведено випробування та визначені триботехнологічні характеристики зміцненого цирконієвим покриттям інструменту в порівнянні з вихідним матеріалом зі сталі Х12.

Встановлено, що нанесення покриттів ZrN на робочу поверхню знижує в 2 рази коефіцієнт тертя. Проведені промислові випробування у кондитерському виробництві показали підвищення експлуатаційної стійкості зміцненого ріжучого інструменту в 14 разів у порівнянні з ножами з вихідного матеріалу.

### Список використаних джерел

1. Aksenov I.I., Belous V.A., Strel'nitskij V.E., Aksonov D.S. Vacuum-arc equipment and coating technologies in KIPT, *Problems of atomic science and technology*, 2016. - №4. - p. 58-71.
2. V.S. Taran et al. Recent developments of plasma-based technologies for medicine and industry, *Nukleonika*. 2012, v. 57, 2, p. 277-282.
3. Garkusha, I.E., Byrka, O., Chebotarev V., Derepovski N., Müller G., Schumacher G., Poltavtsev N., Tereshin, V. Properties of modified surface layers of industrial steel samples processed by pulsed plasma streams, *Vacuum*. 2000, v. 58, № 2, p. 195-201.
4. Скобло Т.С., Романюк С.П., Сидашенко А.И., Муратов Р.М. Упрочнение режущего инструмента покрытиями, *Металлознавство та термічна обробка металів*, 2015, №3, С.44-50.
5. Skoblo T.S., Romaniuk S.P., Sidashenko A.I., Garkusha I.E., Taran V.S., Taran A.V., Muratov R.M. Surface Morphology and Mechanical Properties of Vacuum-Arc Evaporated CrN and TiN Coatings on Cutting Tool, *Journal of Advanced Microscopy Research*, 2018, Vol. 13, No. 4, pp. 477-481.
6. Skoblo T.S., Romaniuk S.P., Sidashenko A.I., Garkusha I.E., Taran V.S., Taran A.V., Pilguy N.N. Strengthening method for thin-walled knives with multi-layer nanocoatings and quality assessment by non-destructive method, *Journal of Advanced Microscopy Research*, 2018, Vol. 13, No. 3, pp. 333-338.
7. Skoblo T.S., Romaniuk S.P., Sidashenko A.I., Garkusha I.E., Taran V.S., Taran A.V., Demchenko S.V. Study of degradation mechanism of metal-cutting tools and their hardening by ZrN PVD coatings, *Problems of atomic science and technology. Series: Plasma Physics* (24). – Kharkov, 2018. - №6. - p. 300-303.
8. Pogrebnyak A.D., Bondar O.V., Erdybaeva N.K., Plotnikov S.V., Turbin P.V., Grankin S.S., Stolbovoy V.A., Sobol' O.V., Kolesnikov D.A., Kozak C. Influence of thermal annealing and deposition conditions on structure and physical-mechanical properties of multilayered nanosized TiN/ZrN coatings, *Przegląd Elektrotechniczny*. 2015, N 12, pp. 228-233.
9. Bondar O.V., Stolbovoy V.A., Kylyshkanov M.K., Plotnikov S.V., Erdybaeva N.K., Piotrowska K., Czarnacka K, Karwat C., Dependence of mechanical and tribotechnical properties of multilayered TiN/ZrN coatings on deposition, *Przegląd Elektrotechniczny* 2015, 1, pp.233–236.

### Аннотация

#### ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПАКОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Романюк С.П.**

Выполнены исследования, которые направлены на повышение эксплуатационной стойкости режущего инструмента из высокоуглеродистой инструментальной стали X12, используемого в упаковочных машинах типа MC1DT-T (MC Automations, Италия). Предложен магнитный метод неразрушающего контроля для оценки состояния металла инструмента в процессе эксплуатации. Для повышения стойкости и стабилизации поверхностного рабочего слоя разработаны оптимальные параметры технологии

нанесения наноструктурного покрытия ZrN вакуумно-дуговым методом с использованием ВЧ - разряда и упрочнением с 4 сторон инструмента.

Сопоставительно изучены характеристики износа исходных упаковочных ножей и с покрытием ZrN. Установлено, что предложенный способ повышения эксплуатационной стойкости инструмента существенно улучшил трибологические характеристики поверхностного слоя.

Благодаря применению дополнительного упрочнения инструмента наноструктурным покрытием ZrN в условиях эксплуатации достигнуто увеличение стойкости в 14 раз.

**Ключевые слова:** высокоуглеродистая легированная сталь, наноструктурные покрытия, неразрушающий метод контроля, упрочнение инструмента, повышение износостойкости

## **Abstract**

### **INCREASING WEAR TOOL LIFE OF THE PACKAGING TOOL DURING OPERATION**

**S.Romaniuk**

*The research is focused on increasing the durability of the X12 high-carbon cutting tool steel used in MC1DT-T packing machines (MC Automations, Italy). A magnetic non-destructive method is proposed to evaluate the tool structure during operation. To improve the stability and stabilization of the surface working layer, optimal parameters of the technology of 4 sides hardening by nanostructured ZrN coatings using vacuum-arc method with RF - discharge have been evaluated.*

*The wear characteristics of the initial packaging knives' structure and with the ZrN coating have been compared. It was revealed that the proposed deposition method significantly improved the tribological characteristics of the surface layer.*

*By applying additional tool reinforcement, the ZrN nanostructured coating has achieved a 14-fold increase in operating conditions of the packaging knife.*

**Keywords:** high carbon alloy steel, nanostructured coating, non-destructive control method, tool strengthening, improved durability