

**Скобло Т.С.,\***  
**Романюк С.П.,\***  
**Сидашенко А.И.,\***  
**Мальцев Т.В.\***  
**Олейник А.К.\*\***

\* Харьковский национальный технический университет с/х им. П. Василенко;

\*\* Завод им. Малышева,  
г. Харьков, Украина

**E-mail:** [stamarasemenovna@mail.ru](mailto:stamarasemenovna@mail.ru)

## ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА ДИСКОВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, УПРОЧНЕННОГО НАНОПОКРЫТИЯМИ

УДК 621.793.1

Исследованы характеристики трения и износа образцов тонкостенного режущего инструмента из стали 65Г, упрочненных нанопокрытиями WC и CrN. Результаты испытаний показывают, что наиболее высокую износостойкость и низкий коэффициент трения характерны для варианта с двухслойным нанопокрытием Cr + CrN толщиной 300 нм.

**Ключевые слова:** трение, износ, нанопокрытие, режущий инструмент, микротвердость.

В настоящее время существует достаточно много методов и технологий для повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик материала режущего инструмента в пищевой перерабатывающей промышленности [1]. Одним из них является нанесение упрочняющих покрытий на поверхность ножа, которые увеличивают износостойкость в процессе эксплуатации [2]. Это обеспечивается благодаря способности покрытий препятствовать диффузионным процессам, происходящим при износе в режущей кромке. Для уменьшения интенсивности износа режущей кромки и склонности к усталостной повреждаемости инструмента, повышения работоспособности эффективным может быть использование покрытий на основе нитридов и карбидов тугоплавких соединений.

Анализ условий эксплуатации режущего инструмента [3] и характера его повреждаемости [4] позволил выявить причину преждевременного выхода из строя ножей из стали 65Г. Для того чтобы определить параметры технологического процесса нанесения покрытия для упрочнения и продления срока службы сменных деталей необходимо более детальное изучение особенности износа поверхностного слоя, контактирующего с перерабатываемым сырьем. Оптимизация состава и толщины покрытия позволят улучшить физико-механические и трибологические характеристики режущей кромки инструмента и уменьшить склонность остальной части (основание и средней) ножа к усталостной повреждаемости.

Поэтому целью работы явилось исследование влияния характеристик трения и износа, упрочненных нанопокрытиями и азотированием режущего инструмента для дробления орехов в кондитерском производстве из стали 65Г, полученных методом вакуумно-дугового напыления и обработкой в азотистой плазме, в различных условиях трения.

Исследования проводили сопоставительно исходного образца и 5 с нанопокрытиями, полученными с использованием установки типа "Булат-6" методом PVD, при котором используется процесс прямой конденсации испаряемого материала в ВЧ – разряде.

Анализировали следующие варианты покрытий:

- 1 - Cr + CrN (двухслойное) толщиной 300 нм;
- 2 - 50%С + 50% W толщиной до 20нм;
- 3 - 50%С + 50% W толщиной до 50 нм;
- 4,5 - Азотирование (разные параметры обработки).

Структуру нанопокрытий исследовали с помощью термоэлектронной эмиссии в растровом электронном микроскопе. Распределение химических элементов в покрытии № 3 по поверхности режущего инструмента приведено на рис. 1.

Из рис. 1 можно сделать вывод, что компоненты С и W распределены равномерно по всей поверхности. Наблюдается незначительная диффузия из основного металла в покрытие атомов железа, которые выделяются из подслоя по границам зерен.

Равномерное распределение компонентов и в покрытии CrN. Количественное соотношение распределенных компонентов на поверхности дискового ножа, оцененное микрорентгеноспектральным анализом, составляет: 69,54 % хрома, 22,96 % азота и 7,50 % железа.

Испытания на износ проводили на машине трения СМТ-1 по схеме "диск - колодка" при отличающихся условиях трения. В качестве среды испытаний для образцов были выбраны:

- мелкодроблёная сердцевина грецкого ореха с водой (1:1) + 3 % кварцевой пыли;
- моторное масло М14В<sub>2</sub> + 3 % кварцевой пыли;
- ореховое масло + 3 % кварцевой пыли.

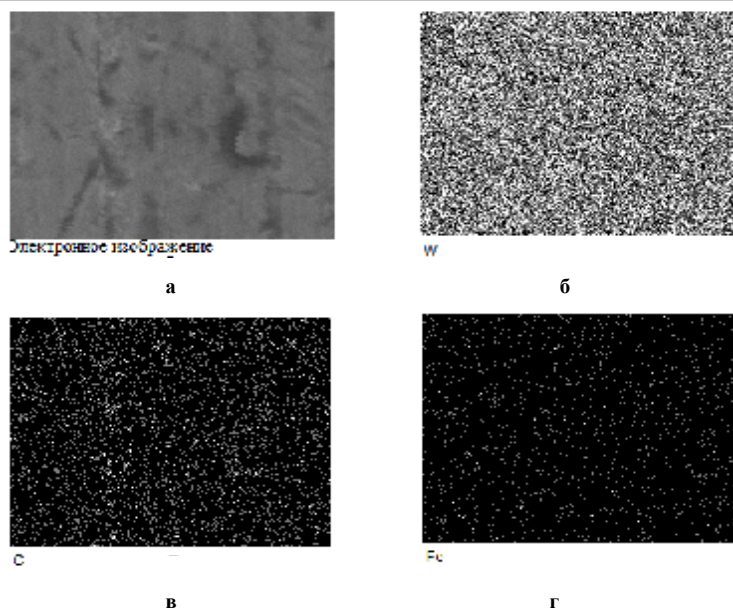


Рис. 1 – Распределение компонентов в покрытии WC по поверхности ножа

Максимально приближенными к реальным условиям эксплуатации является использование среды, состоящей из мелкодроблёной сердцевины грецкого ореха с водой (1:1) + 3 % кварцевой пыли.

В качестве контртела для образцов были выбраны ролики, которые были изготовлены из алюминия АК4-1 и фторопласта.

Нагрузка на образцы составляла 200Н при частоте вращения 500 мин<sup>-1</sup>. Время испытания каждого образца составляло 5 мин.

Для измерения величины износа образцов с нанопокрытием использовали лабораторные весы марки WA-200. Полученные результаты представлены в табл.1.

Таблица 1

Величины износа образцов после каждого этапа испытаний				
№	Состав покрытия	Величина износа, г		
		1	2	3
0	Исходный образец	- 0,0004	- 0,0005	- 0,0005
1	Cr + CrN	0	- 0,0006	+ 0,0001
2	50% C + 50% W (20нм)	- 0,0010	- 0,0006	- 0,0005
3	50% C + 50% W (50нм)	- 0,0005	- 0,0003	- 0,0002
4	Азотирование	- 0,0005	- 0,0004	+ 0,0007
5		+ 0,0013 (задир)	+ 0,0001	- 0,0009

Из данных табл.1 видно, что двухслойное нанопокрытие Cr + CrN толщиной 300 нм показало наилучший результат по сравнению с другими видами упрочнения в среде мелкодробленой сердцевины грецкого ореха с водой (1 : 1) + 3% кварцевой пыли. Это свидетельствует о более высокой износостойкости данного покрытия. Максимальная износостойкость отмечается и в образце с покрытием 50%С + 50%W толщиной до 50нм в среде испытаний с моторным маслом M14-B<sub>2</sub> + 3 % кварцевой пыли, а также с ореховым маслом + 3 % кварцевой пыли. Испытания азотированного образца привели к задирированию, что характеризует неоднородность упрочненного слоя.

Замеры ширины дорожки трения образцов после каждого этапа испытаний проводили на микроскопах МИР12 и инструментальном ИМЦ 100 × 50 А (табл. 2).

Таблица 2

Ширина дорожки трения образцов после каждого этапа испытаний				
Кодировка образца	Состав покрытия	Ширина дорожки трения, мм		
		1	2	3
0	Исходный образец	1,84	3,89	4,05
1	Cr + CrN	0,978	3,49	3,91
2	50% C + 50% W (20нм)	1,42	3,76	4,01
3	50% C + 50% W (50нм)	1,38	3,54	3,75
4	Азотирование	0,72	3,36	3,52
5		1,55	3,65	4,41

После каждого этапа испытаний определяли значения коэффициентов трения образцов. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент трения образцов после каждого этапа испытаний				
Кодировка образца	Состав покрытия	Коэффициент трения		
		1	2	3
0	Исходный образец	0,11	0,065	0,06
1	Cr + CrN	0,045	0,06	0,06
2	50%С + 50%W (20нм)	0,083	0,07	0,06
3	50%С + 50%W (50нм)	0,06	0,07	0,05
4	Азотирование	0,05	0,06	0,05
5		0,05 (до задира)	0,06	0,05
		0,095 (после задира)		

Из данных табл. 3 следует, что максимальное значение коэффициента трения составляет 0,11 и соответствует исходному образцу из стали 65Г. Минимальное значение у образца с двухслойным нанопокрытием Cr + CrN равно 0,045, что характеризует это покрытие как наиболее износостойкое в среде испытаний с мелкодробленой сердцевинной грецкого ореха с водой (1 : 1) + 3 % кварцевой пыли.

Усредненные значения величин износа образцов после испытаний представлены на рис. 2.

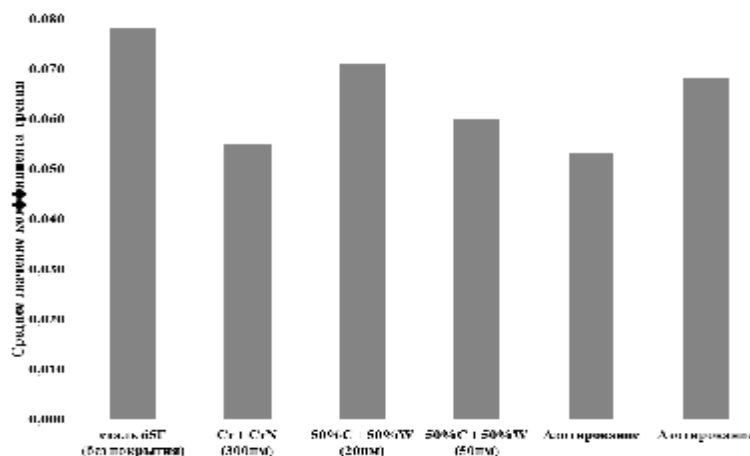


Рис. 2 – Среднее значение коэффициента трения после испытаний

Значительное уменьшение коэффициентов трения у образцов с нанопокрытием Cr + CrN и С+W (50 нм) и азотированием, по сравнению с исходным, обеспечивается их более высокой микротвердостью и износостойкостью.

Замер микротвердости упрочненных поверхностей образцов с нанопокрытием до- и после каждого этапа испытаний проводили на микротвердомере ПМТ – 3 по методу Виккерса при нагрузке индентора 50 г. Результаты измерений представлены в табл. 4.

Таблица 4

#### Микротвердость испытанных поверхностей образцов после каждого этапа испытаний

Кодировка образца	Состав покрытия	Микротвердость, Н-50			
		до испытаний	1	2	3
0	Исходный образец	614	575	530	583
1	Cr + CrN	858	532	549	515
2	50%С + 50%W (20нм)	843	762	539	635
3	50%С + 50%W (20нм)	1111	954	539	555
4	Азотирование	896	549	565	539
5		896	705	594	594

\* **Примечание:** азотирование проведено на различную глубину рабочего слоя и проявляется уже после 1 испытания.

Из табл. 4 видно, что максимальная микротвердость в исходном состоянии соответствует образцу с покрытием 50%С + 50%W толщиной до 50нм и составляет Н-50-1111. После испытаний отмечается значительное ее понижение у всех образцов, что связано с интенсивным износом тонких упрочненных поверхностей. Поэтому наиболее показательным является первый этап испытаний. Минимальная микро-

твердость после трех испытаний на износ в ореховом масле + 3 % кварцевой пыли равна 515 с двухслойным упрочнением Cr + CrN. Это свидетельствует о том, что толщину покрытия для таких изделий следует увеличить. Средние значения микротвердости после испытаний представлены на рис. 2.

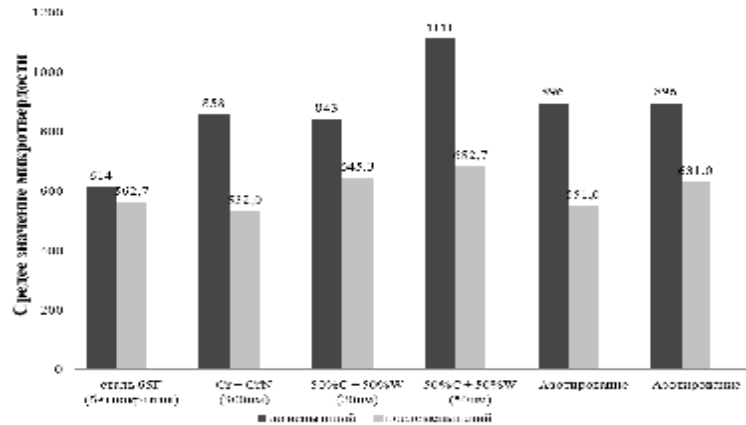


Рис. 3. – Среднее значение микротвердости до- и после испытаний на износ

Максимальное среднее значение микротвердости, как в исходном состоянии, так и после испытаний соответствует образцу с покрытием 50%С + 50%W толщиной до 50 нм и составляет 682,7. При этом наблюдается и наибольшее ее падение на 38,6 %. Это также свидетельствует о необходимости увеличения толщины покрытия.

Использование упрочнения азотистой плазмой затруднительно для таких тонких ножей в связи с тем, что они деформируются в процессе обработки (нарушается их планшетность).

### Выводы

Проведенные испытания на износостойкость образцов режущего инструмента из стали 65Г с нанопокрытием показали, что в условиях, максимально приближенных к реальным (мелкодробленая сердцевина грецкого ореха с водой (1:1) + 3% кварцевой пыли) наиболее высокий уровень износостойкости отмечается у образца с двухслойным покрытием Cr + CrN толщиной 300 нм. Коэффициент трения в этом случае на первом этапе испытаний самый низкий по сравнению с другими вариантами упрочнения. Одновременно микротвердость такого покрытия минимальна, как до- так и после испытаний.

Образцы с покрытием 50%С + 50%W толщиной до 20 нм показали худшие результаты практически по всем показателям. Это связано с недостаточной толщиной слоя, потому что такое же покрытие, но уже толщиной 50 нм имеет значительно лучшие показатели. Для него характерна максимальная микротвердость до-Н-50-1111 и после испытаний (Н-50-954) в среде мелкодробленой сердцевины грецкого ореха с водой (1:1) + 3% кварцевой пыли. Коэффициент трения минимальный при испытании в ореховом масле + 3% кварцевой пыли.

Максимальная износостойкость отмечается в среде испытаний с моторным маслом М14-В<sub>2</sub> + 3% кварцевой пыли, а также с ореховым маслом + 3% кварцевой пыли.

Образец с азотированной поверхностью отличается нестабильностью показаний. Об этом свидетельствуют задиры, возникающие в процессе испытаний. В то же время твердость одного из азотированных образцов после испытаний осталась достаточно на высоком уровне и, по сравнению с исходной, уменьшилась после испытаний всего лишь на 29,6 %. Вместе с тем такая технология не может быть рекомендована для упрочнения тонких ножей из-за их деформации при обработке.

### Литература

1. Романюк С. П., Анализ методов упрочнения режущих инструментов// Вісник ХНТУСГ: [«Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»]. – Випуск 133. – Харків, 2013. – С.136 – 142.
2. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М: Машиностроение, 1986. – 190 с.
3. Скобло Т. С. Процессы, происходящие в тонкостенных ножах при их изготовлении и эксплуатации / Т.С.Скобло, С.П.Романюк, Е.Л.Белкин, А.И.Сидашенко // Промышленность в ФОКУСЕ. – 2014. – № 3. – С.54 - 57.
4. Скобло Т. С. Кинетика структурных изменений ножей в процессе трения при переработке продукции / Т. С. Скобло, А. И. Сидашенко, С. П. Романюк// М. Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С. 197-204.

Надійшла в редакцію 08.11.2014

Skoblo T.S., Romanyuk S.P., Sidashenko A.I., Maltsev T.V., Oleynik A.K. **Features of wear of the disc cutting tool, hardened by the nanocoatings.**

Friction and wear characteristics of samples of the thin-walled cutting tool of 65 Mg steel hardened by the WC and CrN nanocoatings was investigated. The test results show that the highest wear resistance and low friction characteristic for variant with the double-layer Cr + CrN nanocoating of 300 nm thickness.

**Keywords:** friction, wear, nanocoating, cutting tools, microhardness.

### References

1. Romanyuk S. P. Analiz metodov uprochneniya rezhuschih instrumentov. Visnik HNTUSG: «ResursozberIgayuchI tehnologIYi, materIali ta obladnannya u remontnomu virobnitstvi». Vipusk 133. Harkiv, 2013. pp. 136 - 142.
2. Vereschaka A.S., Tretyakov I.P. Rezhuschie instrumentyi s iznosostoykimi pokryitiyami. M: Mashinostroenie, 1986. 190 p.
3. Skoblo T.S., RomanyukS.P., BelkinE.L., Sidashenko A.I. Protsessyi, proishodyaschie v tonkostennyih nozhah pri ih izgotovlenii i ekspluatatsii. T.S.Skoblo, Promyishlennost v FOKUSE. 2014. No 3. pp.54 - 57.
4. Skoblo T. S., SidashenkoA. I., Romanyuk S. P. Kinetika strukturnyih izmeneniy nozhey v protsesse treniya pri pererabotke produktsii. M. Nauchnoe obozrenie. 2014. No 4. pp. 197 – 204.