

УДК 621.793

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С AlCrN ПОКРЫТИЕМ

В.М. КОМАРОВСКАЯ¹, А.П. ЛЕВШУКОВ², И.А. ЧУБСА³,
В.И. САКОВСКИЙ⁴, М.Г. СЫРОКВАШ⁵, Д.Е. КАМЫДА⁶

¹ к.т.н., доцент, начальник УНТ ОАО «МЗШ»

² главный инженер-заместитель директора ОАО «МЗШ»

³ начальник бюро ОАО «МЗШ»

⁴ начальник отдела ОАО «МЗШ»

⁵ инженер-технолог ОАО «МЗШ»

⁶ ст. преподаватель кафедры «Физическая культура»
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной статье приводятся сведения о промышленных испытаниях червячных фрез, которые проводились на базе ОАО «Минский завод шестерен». Авторы статьи установили, что фрезы с AlCrN покрытием, сформированным вакуумным электродуговым методом, обладают более высокой стойкостью (примерно в три раза) по сравнению с фрезами без покрытия.

Ключевые слова: червячные фрезы, поверхности зубьев, функциональные покрытия, повышение износостойкости, период стойкости, промышленные испытания, условия эксплуатации.

INDUSTRIAL TESTS OF HORBING CUTTERS WITH AlCrN COATING

V.M. KOMAROVSKAYA¹, A.P. LEVSHUKOV², I.A. CHUBSA³,
V.I. SAKOVSKIY⁴, M.G. SYRAKVASH⁵, D.E. KAMYDA⁶

¹ PhD, Associate Professor, Head of the CNT of JSC «MGW»

² Chief Engineer-Deputy Director of JSC «MGW»

³ Head of the Bureau of JSC «MGW»

⁴ Head of Department of JSC «MGW»

⁵ Process engineer of JSC «MGW»

⁶ Senior lecturer of the Department of Physical Culture
Minsk, Republic of Belarus

Annotation. This article provides information about industrial tests of worm cutters, which were conducted on the basis of JSC «Minsk Gear Works». The authors of the article found that milling cutters with an AlCrN coating formed by the vacuum electric arc method have a higher resistance (about three times) compared with uncoated milling cutters.

Key words: worm cutters, tooth surfaces, functional coatings, increased wear resistance, durability period, industrial tests, operating conditions.

На предприятии ОАО «МЗШ» порядка 60-70 % зубчатых венцов колес получают с использованием червячных фрез. Данный вид металлорежущего инструмента относится к сложнопрофильному и является весьма дорогостоящим. В связи с этим значительное внимание на ОАО «МЗШ» уделяется вопросам повышения периода стойкости червячных фрез, что в свою очередь позволит в разы сократить расходы на инструментальное производство. Перспективным направлением решения проблемы повышения периода стойкости червячных фрез является усовершенствование технологии изготовления, которая помимо этапов получения заготовки и её обработки включает этап формирования износостойкого покрытия.

На первом этапе экспериментальных исследований определяли, как влияет наличие покрытия на стойкость фрезы при одних и тех же режимах резания. В качестве объекта исследования выбрана фреза 2510-5520 (данная фреза используется для обработки заготовки «Колесо реверса» программа выпуска которой составляет 12000 в год). Для исследований были взяты три фрезы без покрытия и три с покрытием, которое получено методом КИБ (конденсация с ионной бомбардировкой) на установке INNOVA Oerlikon Balzers, эксплуатирующейся на ОАО «Оршанский инструментальный завод». Материал покрытия – AlCrN. Выбор данного материала покрытия обусловлен его относительно высокой износостойкостью за счет постоянного образования оксидных слоев на изнашиваемых поверхностях [1]. Так авторы работы [2] отмечают, что наличие алюминия в таком покрытии повышает износостойкость при высоких температурах.

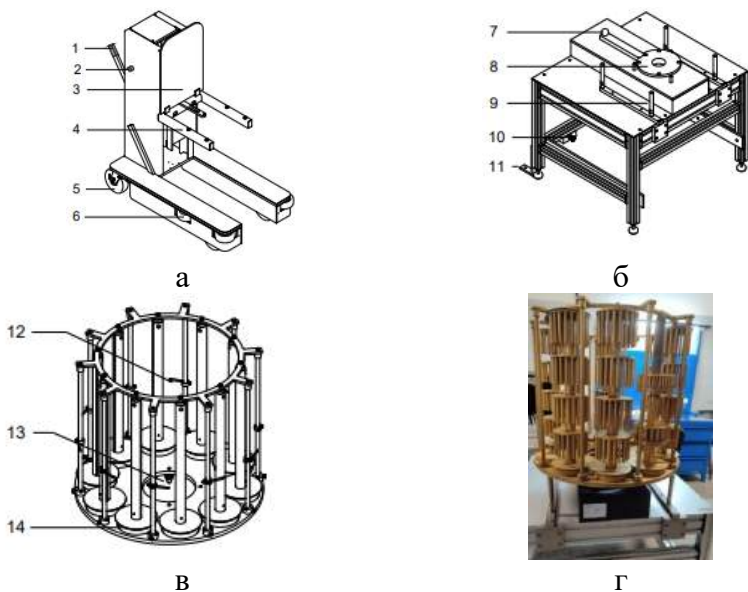
Технологический процесс осаждения покрытий включает в себя несколько этапов:

1. Входной визуальный контроль изделий, который необходимо производить для выявления деталей с дефектами.

2. Внекамерная подготовка поверхности червячных фрез заключалась в мойке в ультразвуковых ваннах для удаления загрязнений после механической обработки. После завершения процесса ультразвуковой очистки, детали проходят этап сушки в вакуумной печи.

3. Загрузка изделий в вакуумную камеру.

Для установки деталей используют технологическую оснастку, которую устанавливают на карусель в вакуумной камере, что обеспечивает их планетарное движение в процессе осаждения покрытий (рисунок 1).



а – Устройство замены карусели: 1 – рычаг; 2 – клапан сброса давления; 3 – защитное стекло; 4 – вилочный захват; 5 – колесо; 6 – колесо для позиционирования; б – Стол загрузки каруселей: 7 – рычаг позиционирования; 8 – поворотный стол; 9 – защита от опрокидывания; 10 – стопор; 11 – угловой кронштейн; в – Оснастка установленная на карусель: 12 – фликер; 13 – установочный штифт; 14 – шпindel; г – Фото оснастки в сборе с каруселью

Рисунок 1 – Устройства для загрузки изделий в вакуумную камеру

4. Откачка вакуумной камеры до рабочего давления $(3...5) \times 10^{-3}$ Па.

5. Внутрикамерная подготовка поверхности проводится для полного удаления всех видов загрязнения и активации поверхности инструмента. В случае с быстрорежущими сталями используют обработку (бомбардировка) ионами инертного газа (например, аргон).

6. Осаждение покрытий. В нашем случае покрытие AlCrN относится к многослойным у которых каждый слой выполняет свою функцию. Одним из важных свойств практически всех многослойных покрытий является способность останавливать возникающие трещины, то есть они распространяются не вглубь покрытия, а вдоль границ [3]. Процесс формирования многослойных покрытий отличается от традиционной технологии нанесения однослойных. В тоже время неотъемлемой частью процесса получения многослойного покрытия является нанесение, так называемого, адгезионного подслоя (в рассматриваемом покрытии это алюминий), что нивелирует разницу в коэффициентах температурного линейного расширения основы и покрытия. Затем последовательно наносится необходимое количество рабочих слоев AlCrN. Количество (толщина) и состав слоев (процентное соотношение элементов) определяются исходя из требований, предъявляемых к покрытию. Оптимизация толщины каждого слоя является сложной задачей, решаемой с помощью моделирования и экспериментальных исследований. Точный состав и толщина каждого слоя определяются методом, выбранным для нанесения покрытия, типом подложки и предполагаемыми условиями эксплуатации.

7. Остывание изделий. После завершения процесса осаждения покрытия необходимо обеспечить плавное остывание изделий с покрытием (снизить вероятность образования внутренних напряжений) и потом извлечь из вакуумной камеры. Для ускорения процесса охлаждения режущего инструмента может использоваться специальная охлаждающая камера (рисунок 2).



Рисунок 2 – Фото охлаждающей камеры модели СВ 380

8. Контроль качества покрытий. Визуальный осмотр изделий. На изделия не допускаются трещины, вздутия, сколы, отслаивание и шелушение покрытий, пятна, подтеки.

Контроль качества фрез производится путем разрушающих испытаний образцов-свидетелей (материал Р6М5). Толщину пленок на ОАО «ОИЗ» измеряют при помощи специального толщиномера каюМАХ NT II. Для более точного контроля адгезии производится оценка класса адгезии [НГ] методом определения твердости по Роквеллу. Оценка результатов испытаний толщины покрытий и адгезии с основой происходит при помощи стереоскопических микроскопов с системой документации изображения таких как ZEISS SteREO Discovery V12 с AxioCam MRc5.

Испытание червячных фрез с покрытием на микротвердость проводили согласно ГОСТ 9450-76 вдавливанием алмазного наконечника в течение определенного времени (по методу восстановленного отпечатка).

Промышленные испытания червячных фрез 2510-5520 проводились на базе ОАО «Минский завод шестерен» во втором механическом цеху. В качестве металлорежущего оборудования выбран зубофрезерный станок модели 53К80Ф4, обрабатываемая деталь «Колесо реверса» (твердость порядка 35 HRC). С целью получения объективных результатов испытания режимы резания для всех червячных фрез были одинаковые: частота вращения $n=100 \text{ мин}^{-1}$; скорость резания $v=35 \text{ м/мин}$; глубина резания $t=11,25 \text{ мм}$; подача $s=0,8 \text{ мм/об}$; цикл обработки $T=3300 \text{ секунд}$.

Цикл промышленных испытаний включал в себя следующие этапы:

1. Визуальный осмотр инструмента перед эксплуатацией на наличие трещин, вздутий, сколов и других дефектов покрытия.

2. Установка инструмента на станок для проведения зубофрезерной операции на детали.

3. Снятие инструмента после обработки 5 деталей.

4. Визуальный осмотр инструмента на наличие износа на рабочих поверхностях (режущих кромок) зубьев. При наличии допустимого износа по задней поверхности зуба (до 0,4 мм) повторная установка инструмента на станок для дальнейшей обработки заготовок. При износе от 0,4 мм и более инструмент транспортируется в заточное отделение для проведения заточки зубьев.

5. Заточка инструмента.

6. Повторная установка инструмента на станок для дальнейшей обработки заготовок.

7. Измерение геометрических параметров детали. Измерению подлежат 1 деталь до заточки и 1 деталь после заточки.

Пункты 4-7 повторяются до 3 перезаточек, как для фрез без, так и с покрытиями.

Фото поверхности зубьев фрезы без покрытия до (рисунок 3 а) и после (рисунок 3 б) испытаний представлена на рисунке 3.



а



б

а – Поверхность зубьев до испытаний; б – Поверхность зубьев после испытаний

Рисунок 3 – Фото поверхности зубьев фрезы без покрытия

Фото поверхности зубьев фрезы (покрытие AlCrN) до (рисунок 4 а) и после (рисунок 4 б) испытаний представлена на рисунке 4.



а



б

а – Поверхность зубьев до испытаний; б – Поверхность зубьев после испытаний

Рисунок 4 – Фото поверхности зубьев фрезы с покрытием AlCrN

Анализ полученных данных результатов промышленных испытаний червячных фрез позволяет утверждать, что период стойкости инструмента с покрытием увеличивается примерно в три раза по сравнению с фрезами без покрытия (таблица 1). Общее количество обработанных деталей одной фрезой без покрытия составило 34 штуки, а с покрытием 93 штуки, что также указывает на увеличение стойкости инструмента примерно в три раза без снижения качества обрабатываемых заготовок (процент годных деталей не менее 97 %).

Таблица 1 – Результаты испытаний червячных фрез 2510-5520

Параметр	Фреза без покрытия	Фреза с покрытием AlCrN
1	2	3
Количество обработанных деталей до первой перезаточки, шт.	9	30
Количество обработанных деталей после перезаточки №1, шт.	8	26
Количество обработанных деталей после перезаточки №2, шт.	9	20
Количество обработанных деталей после перезаточки №3, шт.	8	17

Окончание таблицы 1

1	2	3
Общее количество обработанных деталей, шт.	34	93
Стойкость, мин.	1870	5115

Следует отметить, что для фрез без покрытия количество обработанных деталей, как до первой перезаточки, так и после последующих трех практически не изменяется и варьируется от восьми до девяти. Это указывает на постоянство свойств материала инструмента по всему объему. А для фрез с покрытием количество обработанных деталей от первой перезаточки и после каждой последующей постепенно снижается, что может быть вызвано уменьшением толщины рабочего слоя покрытия на режущей вершине зуба.

Относительно низкая общая стойкость данных фрез (с и без покрытия) объясняется повышенной твердостью обрабатываемых заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Long Y., Zeng J., Yu D., Wu S. Microstructure of TiAlN and CrAlN coatings and cutting performance of coated silicon nitride inserts in cast iron turning. // *Ceramics International*. – 2014. – Vol. 40. – P.9889-9894.
2. Michalak M., Michalczewski R., Osuch-Słomka E., Maldonado-Corte's D., Szczerek M. The effect of temperature on wear mechanism of the AlCrN coated components. // *Key Engineering Materials*. – 2016. – Vol. 674. – P.233-238.
3. Локтев, Д.А. Современные червячные фрезы: конструкция, инструментальные материалы и износостойкие покрытия / Д.А. Локтев // *Известия МГТУ «МАМИ»*. – 2014. – № 1(19), т.2. – С. 140-152.

REFERENCES

1. Long Y., Zeng J., Yu D., Wu S. Microstructure of TiAlN and CrAlN coatings and cutting performance of coated silicon nitride inserts in cast iron turning. // *Ceramics International*. – 2014. – Vol. 40. – P.9889-9894.

2. Michalak M., Michalczewski R., Osuch-Słomka E., Maldonado-Corte's D., Szczerek M. The effect of temperature on wear mechanism of the AlCrN coated components. // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 674. – P.233-238.

3. Loktev D.A., Sovremennyye chervyachnyye frezy: konstruktsiya, instrumental'nyye materialy i iznosostoykiye pokrytiya / D.A. Loktev // Izvestiya MGTY «MAMI». –2014 №1(19), t.2 – S. 140-152.