

УДК 621.9

Е.В. Симагина¹, Ю.В. Агабеков²**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА
С НАНОСТРУКТУРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**ООО «Нижегородские моторы» группа ГАЗ¹,
НПФ «Элан-Практик»²

В условиях действующего производства проведены испытания твердосплавных режущих пластин с различными видами наноструктурных покрытий. Выявлено четырёхкратное увеличение стойкости режущего инструмента с наноструктурным покрытием AlTiN по сравнению с пластинами без покрытия.

Ключевые слова: наноструктурное покрытие, стойкость режущего инструмента, вакуумная установка, магнетронное плазменное напыление.

Работоспособность металлорежущего инструмента в процессе механической обработки в значительной мере влияет на качество обрабатываемой поверхности за счет изменения контактных условий в зоне резания, стабильности процесса резания, а также на производительность обработки за счет сокращения времени резания (возможности увеличения режима резания) и снижения времени на замену режущего инструмента (увеличение периода стойкости) [1].

В современной промышленности широко применяются различные конструкционные материалы: титановые, алюминиевые, титан - алюминиевые сплавы и др. Эти материалы, при низкой удельной массе обладают высокими прочностными и вязкостными характеристиками. Высокая вязкость существенно затрудняет обработку таких материалов. В связи с этим к современному металлорежущему инструменту предъявляются повышенные требования, он должен иметь высокую стойкость в условиях высоких механических и тепловых нагрузок.

Процесс обработки металлов резанием может быть существенно усовершенствован за счёт применения покрытия режущего инструмента.

Состав и свойства износостойких покрытий в значительной степени зависят от техники и технологии их нанесения [2]. Методы нанесения путём осаждения делятся на две большие группы: физические (ФОП, или PVD) и химические (ХОП, или CVD). Внутри этих двух основных групп существует большое количество разновидностей. Также активно применяются комбинированные методы.

При *физическом* осаждении (PVD) материал покрытия переходит в газовую фазу из твёрдого состояния в результате испарения под воздействием тепловой энергии или в результате распыления за счёт кинетической энергии столкновения частиц материала. Нанесение покрытий методом PVD происходит при невысокой температуре (до 450°C), что не приводит к практическим ограничениям по материалам, на которые наносится покрытие. Это важно при нанесении покрытия на быстрорежущую сталь, так как температура не превышает температуру отпуска закалённой стали (около 550°C). Процессы PVD происходят в вакууме или в атмосфере рабочего газа при достаточно низком давлении (около 10⁻² мбар).

Метод *химического* осаждения (CVD) практически не имеет ограничений по химическому составу покрытий. Свойства получаемого покрытия зависят от комбинации материалов и параметров процесса. Если процесс протекает при заполнении пространства реакционным газом (кислородом, азотом, углеводородом), происходит нанесение оксидных, нитридных и карбидных покрытий.

При таком методе нанесения покрытия химические реакции происходят на или около поверхности покрываемого материала. В противоположность процессам PVD, при которых твёрдые материалы покрытия переводятся в газообразную фазу путём испарения или распыления, при процессе CVD в камеру покрытия подаётся смесь газов.

Для протекания необходимых химических реакций требуется температура до 1100°. Это существенно ограничивает число материалов, на которые можно нанести покрытие методом CVD. Процессы CVD происходят в менее глубоком вакууме при давлениях между 100 и 1000 Па.

Область применения двух основных методов нанесения покрытия определяется их описанными ранее свойствами. Процессы CVD протекают при высоких температурах и при более высоком давлении. В следствие чего, этот метод не пригоден для изделий из быстрорежущей стали (термообработанные быстрорежущие стали теряют все свои свойства в результате отпуска), а для твёрдого сплава такие температуры приводят к неприятным последствиям – в поверхностном слое наблюдается снижение вязкости твёрдого сплава с покрытием по сравнению с твёрдым сплавом без покрытия. Это является следствием обезуглероживания граничной зоны, что приводит к образованию эта-фазы твёрдого сплава – хрупкой поверхностной зоны толщиной 3-5 мкм.

Для снижения вредного воздействия температуры нанесения покрытия на свойства подложки был разработан способ нанесения покрытия CVD при более низких температурах (около 800°C). Такой метод получил название *среднетемпературного метода CVD* (MT-CVD) в отличии от *высокотемпературного* (HT-CVD).

Снижение температуры позволило сократить снижение вязкости, но не решило эту проблему полностью. Скомпенсировать снижение вязкости твёрдого сплава под воздействием температуры способствовало появлению градиентных твёрдых сплавов (с изменяемым по глубине составом) и нанесению многослойных покрытий.

Два метода нанесения покрытия также различаются между собой по виду внутренних напряжений в слое покрытия. При нанесении покрытий методом PVD имеют место сжимающие напряжения, а при нанесении методом CVD – растягивающие. Растягивающие напряжения улучшают адгезию покрытия и основы.

Таким образом, описанные свойства двух методов нанесения покрытия определили их область применения. Химический метод нанесения покрытия в основном используется для нанесения покрытия на твердосплавные пластины для токарной обработки. Доля фрезерных пластин с покрытием CVD значительно ниже, так как они более чувствительны к возможному снижению вязкости в поверхностной зоне под покрытием из-за постоянной работы с переменными нагрузками.

На сегодняшний день разработана ещё одна разновидность метода CVD, позволившая снизить температуру покрытия практически до уровня покрытия PVD и избежать её негативных последствий, – этот метод представляет собой практическую комбинацию двух основных методов нанесения покрытий методом CVD и происходит в среде плазмы, как при методе PVD.

Кроме способа нанесения покрытия, PVD и CVD отличаются также по составу и структуре.

В основе твердых упрочняющих покрытий лежат тонкопленочные керамические материалы – нитриды, карбиды, карбонитриды переходных металлов (титана, хрома, циркония, вольфрама и др.). Эволюция упрочняющих покрытий представлена на рис.1.

Развитие упрочняющих покрытий шло в направлении усложнения их структуры: от монофазных к многофазным, от однослойных к многослойным и градиентным покрытиям.

Одним из перспективных направлений повышения стойкости РИ является нанесение нанокompозитных покрытий. Нанокompозитные покрытия представляют собой новый класс материалов, которые обладают уникальным комплексом физических и механических свойств.

Нанокompозитное покрытие состоит, по крайней мере, из двух фаз, имеющих нанометровые размеры: нанокристаллической и аморфной, или двух различных нанокристаллических фаз. Механические и трибологические свойства нанокompозитных (наноструктурных) покрытий не подвержены правилам объемного смешивания, а зависят от эффектов границ зерен, и от синергетических взаимодействий композитных составных частей, благодаря размерному эффекту.

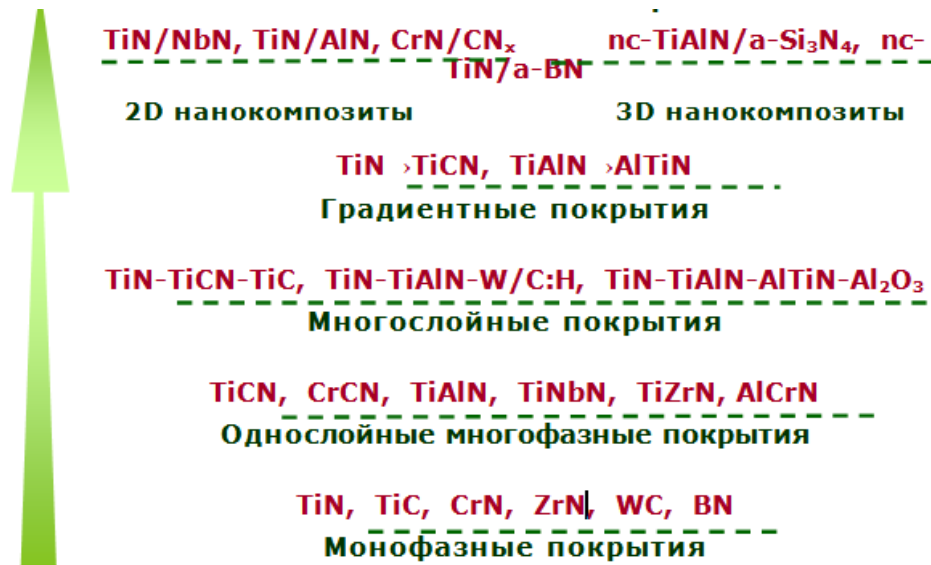


Рис. 1. Развитие упрочняющих нанокompозитных покрытий

Нанокompозитные покрытия могут быть разделены на два типа: двухразмерные (2D) и трехразмерные (3D) нанокompозиты.

2D нанокompозиты (покрытия типа superlattice) – это многослойные покрытия с периодической структурой двух или более чередующихся нанослоев (толщиной от 1 нм до 10 нм) различных материалов. В качестве материалов нанослоев могут выбираться различные металлы, углерод, нитриды, карбиды, оксиды переходных металлов и др.

3D нанокompозиты – это покрытия, структура которых представляет собой объемное распределение двух и более наноразмерных фаз, находящихся в непосредственном контакте друг с другом. Фазы, входящие в состав нанокompозита, могут иметь нанокристаллическую или аморфную структуру. По своему химическому составу эти фазы могут быть металлическими, углеродными или керамическими (нитриды, карбиды, оксиды переходных металлов и др.).

В настоящей работе описаны производственные испытания режущих сменных многогранных неперетачиваемых пластин (СНП), организованные с целью оценки работоспособности режущего инструмента с различными видами наноструктурных покрытий. Систематическое исследование такого вида покрытий в настоящее время отсутствует.

Испытания проводились в условиях действующего производства ООО «Нижегородские моторы» специалистами отдела развития технологических процессов и подготовки производства в период с июля по декабрь 2009. Были испытаны СНП формы TNMG 220408 из сплава BK8, производства «Кировоградский завод твердых сплавов», с различным видами наноструктурных покрытий (пять видов), нанесенных для испытания в вакуумной установке для магнетронного плазменного распыления (PVD-покрытий) UniCoat 700 НПФ «Элан-практик» (г. Дзержинск). В настоящее время магнетронное распыление является одним из основных широко распространенных вакуумных методов нанесения тонкопленочных покрытий.

Таблица 1

Характеристики покрытий

№ п/п	Номер опыта	Тип покрытия	Цвет покрытия	a, мкм	H, ГПа	E*, ГПа	H/E	nГ, %	HV	Адгезия
1	48к АТ	AlTiN	Серый	3,1	44	367	0,127	75	4125	HF1
2	54к АТ-Т	AlTiN- TiN ml	Радужный	3,0	39	326	0,127	74	3686	HF1
3	84к АХ	AlCrN	Светло-серый	3,5	42	363	0,122	73	3931	HF1
4	57к АТ-Т	AlTiN-TiN ml	Радужный	3,5	41	369	0,118	71	3851	HF1
5	6к АТ	(Ti,C)N	Светло-коричневый	3,0	42	317	0,14	78	3932	HF1

Примечание:

a – расчётная толщина.

H – инденторная твёрдость.

$E^* = E / (1 - \nu^2)$, ГПа – приведённый модуль упругости (где E – модуль Юнга, $\nu = 0,25$ – коэффициент Пуассона).

HV – микротвёрдость по Виккерсу.

nГ, % - доля работы упругой деформации (упругое восстановление)

Механические характеристики покрытия (табл. 1) оценивались методом наноиндентации образца-свидетеля в соответствии с DIN EN ISO 14577-1 с использованием системы FISHERSCOPE ®H100C. Адгезия покрытия к основе оценивалась по адгезионному тесту Роквелла (стандарт VDI-3198) – индентации образца-свидетеля с покрытием на твердомере Роквелла под нагрузкой 1500 Н и последующей визуальной оценкой результата индентации по шестибальной шкале. Балл HF1 соответствует наивысшей адгезионной прочности.

Испытания образцов проводились на операции токарной обработки детали 31029-1701040 – Крышка первичного вала (материал СЧ18 ГОСТ1412-85 – отливка 143-229 НВ) (табл. 2).

Таблица 2

Данные об операции токарной обработки

№ п/п	Операция	05-токарная
1	Обработка	Получистовая с ЧПУ
2	Оборудование	Станок токарный с ЧПУ СВ-141
3	СОЖ	АТМ СОЖ
4	Обрабатываемый размер	$d116/d82$
5	Частота вращения шпинделя	$n=380$ об/мин
6	Скорость резания	$V=100-130$ м/мин
7	Глубина резания	$a=0,5-1$ мм
8	Длина обработки	$L_{обр}=32$ мм
9	Минутная подача	$S_m=57$ мм/мин
10	Время резания	$T_{рез}=0,56$ мин

Испытания проводились по действующей методике М 37.102.0022. В процессе испытания фиксировалась величина фактической стойкости и износа СНП. Смена изношенных граней СНП производилась по технологическому критерию затупления (при несоответствии

обработанной поверхности заданным параметрам точности и шероховатости). После окончания испытаний проводилась статистическая обработка полученных результатов.

Оценка работоспособности СНП с различными покрытиями осуществлялась на основе сравнения их стойкости со стойкостью СНП без покрытия (рис. 2). Коэффициент стойкости СНП без покрытия принят равным 1. Из рис. 2 видно, что наибольшую работоспособность проявляет покрытие AlTiN. Этот вывод вытекает и из анализа табл. 3.

Стойкость СНП при обработке СЧ18

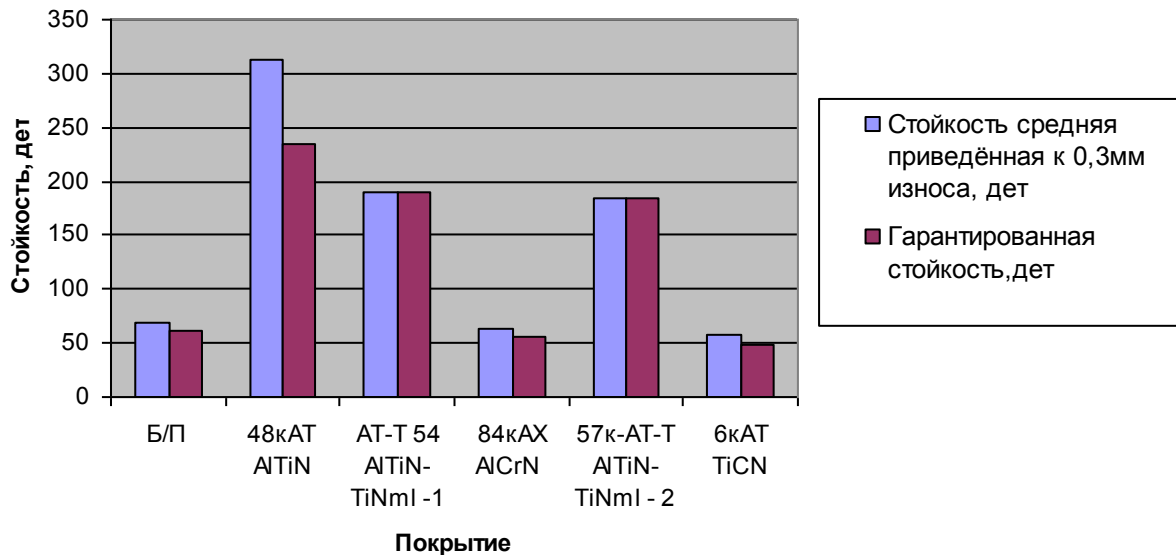


Рис. 2. Гистограмма, иллюстрирующая стойкость СНП с различными видами наноструктурных покрытий при обработке СЧ18

В табл. 3 приведены результаты математической обработки испытываемого инструмента с наноструктурными покрытиями.

Таблица 3

Результаты испытания вариантов покрытий

№ п/п	Покрытие	Количество опытов	Средняя приведённая стойкость, дет./грань	Гарантированная стойкость, дет./грань	Коэффициент стойкости (по сравнению с непокрытым образцом)	Коэффициент вариации средней приведённой стойкости
-	Без покрытия	9	69	61	1,00	0,09
1	AlTiN	9	312	234	4,54	0,20
2	AlTiN-TiNml1	9	189	145	2,75	0,18
3	AlCrN	9	64	55	0,92	0,10
4	AlTiN-TiNml2	9	185	161	2,68	0,10
5	(Ti,C)N	9	58	48	0,84	0,13

Выводы

1. Низкое значение коэффициентов вариации свидетельствует о достоверности и высокой степени повторяемости полученных данных.

2. Значительное повышение стойкости (в 4,54 раза по сравнению с непокрытым образцом) наблюдалось при эксплуатации режущего элемента с покрытием AlTiN (образец №1), а также с покрытием AlTiN-TiNml (образец №2). Снижение стойкости (по сравнению с непокрытым образцом) наблюдалось при эксплуатации режущего элемента с покрытием (Ti,C)N.

Библиографический список

1. **Бобров, В.Ф.** Резание металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
2. **Локтев, Д.А.** Методы нанесения износостойких покрытий и оборудование для их реализации // Стружка. 2004. № 12. С. 6-11.

*Дата поступления
в редакцию 30.03.2010*

E.V. Simagina, Y.V. Agabekov

THE ENHANCE OF CUTTING INSTRUMENTS WEAR AND TEAR BY MEANS OF NANOTECHNOLOGIES

The five hard-metal nano-coated inserts for turning were tested in industry-conditions of “Gorky Automobile Plant”. The AlTiN-nano-coat increased tool life in four times.

Key words: nano-structure -coating, cutting instruments wear and tear, vacuum - adjustment, magnetron-plasma-covering.