

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

А. С. КЛУОНИС, магистрант  
С. А. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, профессор

Вятский государственный университет,  
Киров, Российская Федерация

**Введение.** Как известно, на протяжении всей истории инструментального производства стоит задача увеличения скорости и износостойкости металлообработки, что ведет к снижению себестоимости изготавливаемой продукции.

После появления новых высокопрочных жаропрочных сплавов и композитных материалов задача повышения стойкости инструмента имеет особую актуальность.

Одним из решений задачи повышения износостойкости и твердости инструмента для обработки резанием является нанесение упрочняющего слоя.

Технология поверхностного покрытия представляет собой процесс нанесения на поверхностный слой инструмента тонкое покрытие, которое приводит к изменению свойств поверхности.

**Основная часть.** Существующие технологии можно сгруппировать по характеру протекания процесса, рабочей температуре и характеристикам получаемых покрытий. Последнее является логическим началом при выборе наиболее подходящей технологии для конкретного применения, так в качестве основных современных методов нанесения износостойких покрытий для металлорежущего инструмента используются процессы химического (CVD-chemical vapor deposition) и физического (PVD-physical vapor deposition) осаждения из газовой фазы. Тонкопленочные износостойкие покрытия рассматриваемых технологий имеют различные характеристики (таблица) [1].

При методе PVD начальные твердые материалы переводятся в паровую фазу, аналогичная по составу, что и покрытие, испарением или распылением. Данная технология протекает только в вакууме.

Первоначальными материалами при CVD-процессах выступают газы, состав которых существенно отличается от получаемого покрытия. Поверхностный слой получается за счет химических реакций реаген-

тов. Сам процесс чаще всего осуществляется в специальных камерах, реже – в вакуумных камерах [2].

**Сравнительные характеристики CVD- и PVD-методов нанесения тонкопленочных износостойких покрытий**

Характеристика	CVD-метод	PVD-метод
Температура изделий при нанесении покрытия	700–1100 °С (CVD) 400–500 °С (PECVD)	250–500 °С
Толщина наносимого покрытия	2–10 мкм	0,1–6 мкм
Состав основных наносимых покрытий	TiC, TiN, TiCN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и др.	TiN, TiC, TiCN, TiAlN, ZrC, HfN, HfC, CrN, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Твердость наносимых покрытий, ГПа	20–30	20–50
Коэффициент трения покрытия по стали	0,4–0,6	0,1–0,5
Температура окисления покрытия	400–600 °С	400–1100 °С
Остаточные напряжения в поверхностном слое металла	Высокие растягивающие	Растягивающие
Ограничения в исходном материале инструмента	Нельзя наносить покрытие на закаленный инструмент с низкой температурой	Низкие адгезионные свойства при нанесении покрытий на инструмент из материала с низкой температурой отпуска

При анализе мировых достижений в области нанесения покрытий известно, что при использовании в качестве реагентов формирования газовой фазы элементоорганических соединений и при помощи плазменной активации возможно понизить температуру нагрева изделий при CVD-технологии [3].

При этом уменьшение температуры процесса нивелирует негативные явления от термического воздействия и возможности применения различных материалов в качестве основы.

Повысить уровень экологической безопасности позволяет применение элементоорганических соединений из-за их нетоксичности. Также их применение повышает эффективность контроля за технологическим процессом и воспроизводимость свойств осаждаемых по-

крытий, так как они содержат все необходимые элементы для получения покрытий в однородной субстанции.

Плазменная активация повышает качество подготовки поверхности, вызывает более быстрое прохождение химической реакции, а также к высоким скоростям осаждения покрытия.

PVD- и CVD-технологии применяются для нанесения покрытия на твердосплавные пластины, используемые в первую очередь для токарной обработки [4] с целью повышения производительности и увеличения объемов производства [5, 6]. При фрезерной мелкогабаритной обработке [7, 8] поверхностное покрытие рабочей части концевых фрез способствует продолжительному и непрерывному процессу резания. Немаловажную роль играет также отсутствие длительной подготовки поверхности и необходимости перемещать изделие в процессе нанесения покрытия. По данным немецких инструментальных фирм, с 2000 г. более 70 % токарных пластин выпускается с поверхностным покрытием [9].

При химическом методе осаждения все поверхности изделия, в том числе внутренние с внешним доступом наносится покрытие. Поверхностный слой при физическом методе образуется на зоне, непосредственно обращенной к источнику ионов, при вращении – на всей рабочей поверхности, кроме внутренних зон.

Ограничение широкого использования методов PVD и CVD на отечественных предприятиях связано с применением сложного и дорогостоящего оборудования, требующего высокой квалификации обслуживания. Для российского менталитета промышленных предприятий наиболее рационально для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий использовать малогабаритное, безвакуумное, недорогое и простое в обслуживании оборудование.

**Заключение.** Оба рассмотренных процесса используются для осаждения покрытий различных материалов. CVD-метод, как правило, более сложен. PVD-технология более дорогостоящая, а процесс протекания относительно долгий. С ограничением использования зарубежного оборудования и инструмента вопрос разработки отечественных методов получения износостойкого поверхностного слоя является актуальным для всех машиностроительных предприятий Российской Федерации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительный анализ свойств износостойких покрытий для повышения стойкости сверл / П. А. Тополянский [и др.] // *Металлообработка*. – 2013. – № 4 (76). – С. 28–39.
2. Тополянский, П. А. Сравнительные характеристики электроплазменных процессов нанесения износостойких покрытий и изменения свойств поверхности / П. А. Тополянский // *Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки*. – СПб.: СПбПУ, 2007. – Ч. 2. – С. 243–247.
3. *Handbook of Thin Film Materials. Vol. 1: Deposition and Processing of Thin Films* / Ed. By H. S. Nalwa. Marcell Dekker Inc., N. Y., USA, 2002.
4. Гиршов, В. Л. Металлорежущий инструмент из порошковой стали с дисперсной структурой и алмазоподобным нанопокрывием / В. Л. Гиршов, П. А. Тополянский // *Металлообработка*. – 2009. – № 1 (49). – С. 43–49.
5. Плотников, С. А. Планирование производства и объем выпуска продукции / С. А. Плотников, Е. В. Арасланова // *Общество, наука, инновации*. – Киров: Вятский государственный университет, 2017. – С. 1817–1822.
6. Плотников, С. А. Тандем бережливого производства и ERP систем / С. А. Плотников, А. Г. Чернядьев // *Общество, наука, инновации*. – Киров: Вятский государственный университет, 2017. – С. 1891–1896.
7. Клуонис, А. С. Комбинированный метод получения комплектов мелкоразмерных профильных деталей / А. С. Клуонис, Д. Г. Сергеев, Е. В. Козлов // *Общество, наука, инновации*. – Киров: Вятский государственный университет, 2022. – С. 341–344.
8. Клуонис, А. С. Технология изготовления мелкоразмерных профильных деталей с использованием перемычек / А. С. Клуонис, Д. Г. Сергеев, Е. В. Козлов // *Компьютерно-интегрированные технологии в машиностроении: проблемы и перспективы*. – Ярославль: ЯГТУ, 2022. – С. 19–21.
9. Локтев, Д. Методы и оборудование для нанесения износостойких покрытий / Д. Локтев, Е. Ямашкин // *Наноиндустрия*. – 2007. – № 4. – С. 18–25.

*Аннотация.* Рассмотрены современные технологии нанесения тонкопленочных износостойких покрытий: CVD- и PVD-процессы. Описаны сравнительные физико-механические характеристики данных методов. Также приведены преимущества и недостатки химического и физического метода осаждения поверхностного слоя.

*Ключевые слова:* поверхностный слой, физическое осаждение, химическое осаждение, физико-механические характеристики, анализ.