

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

УДК 629.3.014

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

П. Тополянский, канд. техн. наук

А. Тополянский,

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,

НПФ «Плазмацентр», Санкт-Петербург

office@plasmacentre.ru

Аннотация. Рассмотрены современные технологии упрочнения металлорежущего инструмента – CVD и PVD-процессы, а также новая технология финишного плазменного упрочнения (ФПУ) путем безвакуумного нанесения износостойкого нанопокрyтия на основе карбида, нитрида и оксида кремния.

Ключевые слова: нанопокрyтия, упрочнение инструмента, плазменная обработка.

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR APPLICATION OF THIN-FILM WEAR RESISTANT COATINGS

P. Topolyanskiy, A. Topolyanskiy

Summary. State-of-the-art technologies in hardening of metal-cutting tools have been considered – CVD and PVD-processes as well as a new technology of finishing plasma hardening (FPH) by means of non-aerated application of attrition-resistant nanocoating on the basis of carbide, nitride and silicon oxide.

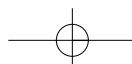
Keywords: nanocoating, instrument hardening, plasma processing

За рубежом в качестве основных технологий нанесения тонкопленочных износостойких покрытий используются процессы химического осаждения покрытий из газовой фазы CVD (chemical vapor deposition) и физического осаждения покрытий из газовой фазы PVD (physical vapor deposition) [1–4, 8].

В общем случае термин «осаждение покрытий из газовой фазы» (vapor deposition) можно определить как конденсацию газообразных (парообразных) элементов или их соединений с образованием твердого покрытия. При этом основное отличие процессов PVD от CVD состоит в том, что в технологиях PVD исходные твердые материалы за счет испарения или распыления переводятся в газовую (паровую) фазу, которая имеет тот же состав, что и покрытие, а сам процесс осуществляет-

ся только при низком давлении. При CVD-процессах в качестве исходных материалов используются различные газы, а состав газовой фазы и состав покрытия существенно различаются, процессы в большинстве случаев проводятся при атмосферном давлении и только в отдельных случаях – в вакууме. Летучее соединение осаждаемого элемента подается к подложке, где подвергается термическому разложению (пиролизу) или вступает в восстановительные химические реакции с другими газами (или парами). При этом нелетучие продукты реакций осаждаются на поверхность подложки, а летучие – утилизируются.

Все процессы CVD сопровождаются термической (рис. 1) или плазменной (рис. 2) активацией зоны осаждения (включая под-



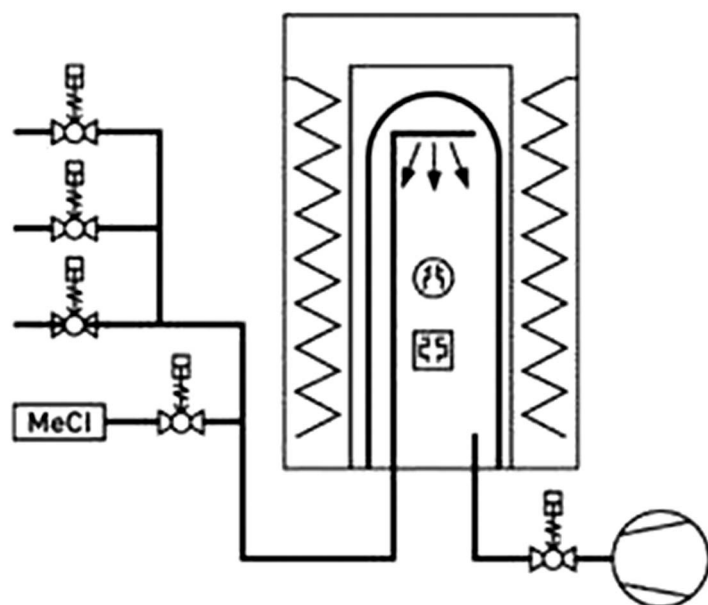
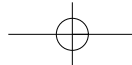


Рис.1. Общая схема CVD-процесса

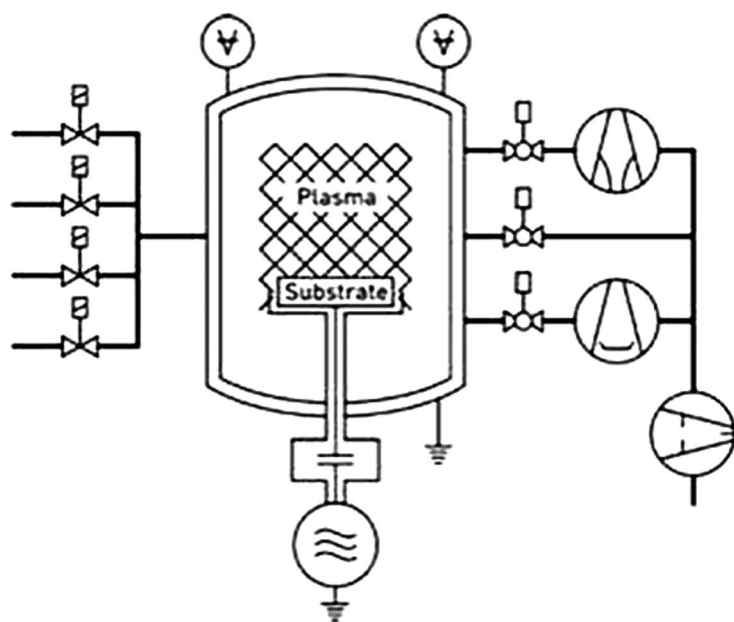


Рис. 2. Схема PA-CVD-процесса

ложку) или дополнительно активацией реагента (реагентов) вне зоны осаждения. Термоактивация зоны осаждения производится с использованием индукционного, радиационного или резистивного нагрева. Покрытия образуются в результате большого количества химических реакций, протекающих в газовой

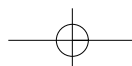
фазе вблизи от поверхности подложки и на самой поверхности подложки. Известно, что при CVD-процессах материал осаждается в виде порошка, если химическая реакция образования его частиц в твердом состоянии протекает только в газовой фазе, и в виде покрытия, если реакция образования твердых частиц материала происходит на поверхности подложки. Очевидно, что для образования износостойких покрытий используется только вторая группа процессов химического осаждения из газовой фазы.

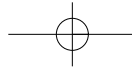
Процессы CVD, где используется плазменная активация зоны осаждения, включая подложку, называются plasma enhanced CVD (PE CVD или PA CVD). Плазменная активация осуществляется с помощью электродной и безэлектродной разрядных систем в реакционных камерах, выполненных на базе трубчатых или колпаковых реакторов пониженного давления.

В международной практике процессы CVD, где отсутствует плазменная термическая активация изделий, а обеспечивается только плазменная активация реагентов, называются plasma chemical CVD.

Таким образом, CVD-технологии – это группа физико-химических гетерогенных процессов осаждения покрытий, образуемых на границе раздела двух фаз: твердой (подложка) и газообразной (газа, пара или газовой низкотемпературной неравновесной плазмы) с участием большой совокупности инертных и химически активных нейтральных и заряженных газовых частиц, электронов и фотонов в широком диапазоне энергий (от 0,025 до 500 эВ) [5].

Выбор метода нанесения тонкопленочного износостойкого покрытия (PVD или CVD)





ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

определяется условиям эксплуатации изделия и следующими факторами:

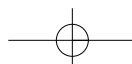
1. Свойствами материала наносимого покрытия;
2. Скоростью нанесения покрытия;
3. Ограничениями, вносимыми видом и материалом изделия, например, максимально допустимой температурой нагрева, габаритными размерами;
4. Величиной адгезионной прочности сцепления покрытия с основным материалом;
5. Величиной когезионной прочности самого материала покрытия;
6. Энергозатратами (затрачиваемой мощностью оборудования для нанесения покрытия);
7. Доступностью оборудования и необходимостью специальных средств технологического обеспечения;
8. Стоимостью процесса;
9. Дефицитностью исходных материалов;
10. Ремонтопригодностью, возможностью вторичного нанесения после переточки, простотой снятия предшествующего покрытия;
11. Экологическими аспектами.

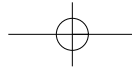
В России разработка технологии и оборудования для нанесения износостойких покрытий методом CVD проводилась во ФГУП «ВНИИТС» в 80-х гг. прошлого столетия. Предложений по изготовлению и поставке российских установок для нанесения износостойких покрытий методом CVD в настоящий момент нет. За рубежом оборудование для CVD-процессов выпускается, например, фирмами: RICHTER PRECISION INC. (США), TI-COATING, INC. (США), HI-TECH FURNACE SYSTEMS, INC. (США), RUBIG & Co KG GmbH (Германия), для процессов PA-CVD – PLATEG GmbH (Германия), IONBOND AG OLTEN (Швейцария), OS OERLIKON BALZERS AG (Лихтенштейн), KOLZER (Италия) и др.

В России для нанесения износостойких покрытий методами PVD разработано оборудование, которое выпускается, например, фирмами: ОАО «СИБЭЛЕКТРОТЕРМ», ОАО

«ВНИИИНСТРУМЕНТ», ОАО «ЦНИИТМАШ», ООО НПФ «ЭЛАН-ПРАКТИК», ЗАО «ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», МГТУ «СТАНКИН» и др. Данное оборудование реализует процессы термического испарения и ионного распыления материалов, где используются тлеющие и дуговые разряды в вакууме. За рубежом оборудование для нанесения износостойких покрытий методами PVD выпускается, например, фирмами: VTD VAKUUMTECHNIK DRESDEN GmbH (Германия), SULZER METAPLAS GmbH (Германия), IONBOND AG OLTEN (Швейцария), PLATIT AG (Швейцария), HAUZER TECHNO COATING (Нидерланды), OS OERLIKON BALZERS AG (Лихтенштейн) и др.

В последнее время в России имеется тенденция к внедрению оборудования для PVD- и CVD-процессов. Так в ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» в 2007 г. внедрены две установки: Platit – для нанесения PVD покрытий и Vernex VPX Pro 530L для нанесения CVD-покрытий. В Рыбинске при поддержке ГК РОСНАНО организовано производство твердосплавного инструмента с наноструктурированным покрытием, наносимым методом PVD на основе тугоплавких соединений при применении оборудования, разработанного ФГУП РИЦ «Курчатовский институт». В Москве, Туле и Электростали организованы центры по нанесению тонкопленочных функциональных покрытий с использованием импортного оборудования ведущих мировых фирм, таких как PLATIT AG (Швейцария), VACOTEC SA (Швейцария), Oerlikon Balzers AG (Лихтенштейн). Важно отметить, что тенденция к приобретению сложного импортного оборудования для PVD и CVD процессов требует для поддержания его функциональных свойств использования дорогостоящих зарубежных материалов, реагентов, комплектующих изнашиваемых элементов, обслуживания по главным проблемам иностранными специалистами.





Использование на отечественных промышленных предприятиях современных технологий для нанесения тонкопленочных износостойких покрытий для повышения долговечности изделий является актуальной задачей. При этом применение сложного, требующего высокой квалификации обслуживающего персонала, дорогостоящего оборудования для PVD- или CVD-процессов даже на крупных российских предприятиях неперспективно. Для российского менталитета промышленных предприятий наиболее рационально использовать безвакуумное, малогабаритное, недорогое и простое в обслуживании оборудование.

В соответствии с этой концепцией в России разработаны два новых метода безвакуумного нанесения тонкопленочных износостойких покрытий на режущий инструмент, а именно: высокочастотное плазменное напыление кремнийсодержащего покрытия [6]; финишное плазменное упрочнение (ФПУ) путем нанесения покрытий на основе тугоплавких соединений кремния [7].

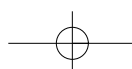
Для реализации высокочастотного плазменного нанесения тонкопленочного кремнийсодержащего покрытия в настоящее время ОАО «ВНИИТВЧ» выпускает две установки – ПЛАЗМА-401 и ПЛАЗМА-403. К недостаткам данного оборудования относятся: сложность технологических процессов и аппаратуры, значительные габариты, высокое энергопотребление, трудности автоматизации технологии и др.

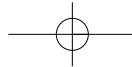
С использованием технологии ФПУ упрочняющее нанопокрывание толщиной 10...200 нм наносится без использования вакуума при атмосферном давлении из низкотемпературной плазмы электродугового плазмотрона с генератором плазмохимических реакций. Локальная плазменная струя, содержащая необходимые элементы с оптимальными параметрами перемещается вдоль обрабатываемой поверхности по заданной программе, обеспечивая формирование непосредственно

на упрочняемой поверхности нанопокрывания требуемой толщины. Отклонение толщины покрытия от заданной, как правило, не превышает 10 % и обеспечивается постоянством технологических параметров при автоматизированном поддержании заданных характеристик процесса и соблюдением параметров перемещения плазмотрона с плазмохимическим генератором относительно изделия. Принципиально данная технология относится к плазмохимическим процессам химического осаждения покрытий из газовой фазы. Если в традиционных PE CVD процессах в основном используются высокочастотные или дуговые плазменные разряды, горящие при низком давлении, то в процессе ФПУ применяется дуговой разряд при атмосферном давлении.

Исследования толщины наносимого покрытия проводились с использованием голографического цифрового длинномера ДГ-100, предназначенного для прецизионных измерений с использованием линейных датчиков, имеющего точность измерений ± 10 нм. При этом покрытие наносилось на одну из сторон плоскопараллельных плиток размером 10x35x100 мм, изготовленных из инструментального материала, через специальную маску, обеспечивающую нанесение покрытия только на диаметр 7 мм. Измерение осуществлялось путем установки датчика длинномера в центре пятна покрытия и исходной поверхности, расположенной под маской. Разность между этими значениями соответствовала толщине покрытия.

Толщина покрытия оценивалась также снятием профилограмм на ИВК «Профиль», включающем профилограф-профилометр 201, персональный компьютер, интерфейс связи профилографа с компьютером и пакет прикладных программ. Покрытие наносилось на плоскопараллельные поверхности плиток через маску со щелью 2–3 мм. При этом профилограммы снимались на базовой длине 5 мм.





ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

На основании диэлектрических свойств наносимого нанопокрyтия [7] был разработан прибор, предназначенный для измерения в процессе нанесения покрyтия его электрического сопротивления, зависящего от толщины покрyтия. Прибор позволяет контролировать наноразмерную толщину покрyтия на различных поверхностях.

Субмикрорельеф рабочих поверхностей образцов (рис. 3), исследовавшийся на просвечивающем электронном микроскопе ЭММА-2 методом углеродно-серебряных реплик, показал высокооднородную характерную топографию, присущую поверхностям после безвакуумного плазменного нанесения нанопокрyтия (в то время как субмикрорельеф поверхностей до нанесения покрyтия имеет явно выраженные многообразные следы – риски и дефекты от предшествующей абразивной обработки). Изменение топографии поверхности после безвакуумного плазменного нанесения нанопокрyтия является подтверждением того, что покрyтие осаждается на микродефектах поверхности, залечивая тем самым дефектные зоны, образованные при предшествующей шлифовальной операции.

В отличие от общеизвестных и широко применяемых процессов CVD и PVD новая

технология обеспечивает нанесение нанопокрyтия без использования вакуума, является высокоэффективной при сроке окупаемости затрат на внедрение менее 1 года.

Значительным преимуществом новой безвакуумной технологии плазменного нанесения упрочняющего нанопокрyтия является простота и минимальное время предварительной подготовки обрабатываемых поверхностей – только обезжиривание и подогрев до температуры 50–100 °С. Условия формирования покрyтия при безвакуумном плазменном нанесении нанопокрyтия характеризуются также повышенной адгезией нанопокрyтия к основе за счет активных хемосорбционных процессов. Это подтверждается проведенными исследованиями адгезионных свойств, например, покрyтия на основе соединений кремния с использованием склерометрического метода. Испытанию подвергались образцы из термообработанной стали Р6М5 с покрyтием, нанесенным безвакуумным плазменным методом, и покрyтием нитрида титана, нанесенным ионно-плазменным напылением в вакууме. В качестве индентора применялся алмазный конус Роквелла с углом при вершине 120°, передвигаемый по поверхности покрyтий со скоростью 3 см/мин. Вертикальная нагрузка на индентор увеличивалась

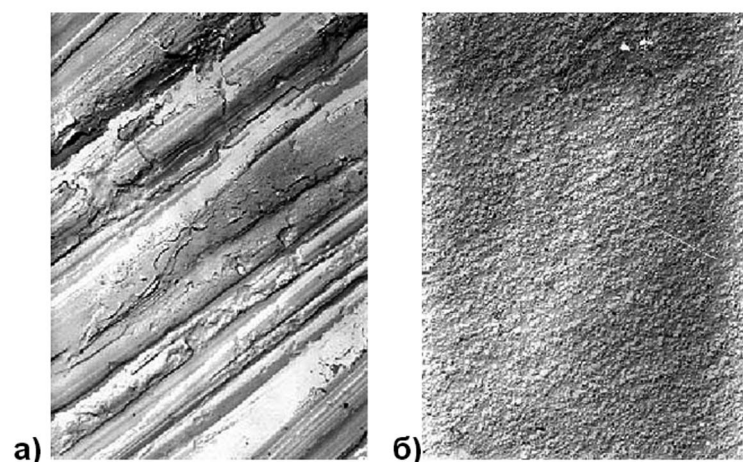
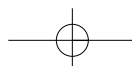
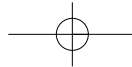


Рис. 3. Микрорельеф поверхности до (а) и после (б) безвакуумного плазменного нанесения нанопокрyтия (x5000)

до тех пор, пока не достигалась ее критическая величина, при которой покрyтие отслаивалось от подложки. Данную критическую нагрузку определяли, исследуя полученные царапины под металлографическим микроскопом. В результате данных исследований выявлено, что критическая нагрузка, при которой появлялись первые сколы и отслоение покрyтия из нитрида титана, составляла 35 Н, а для покрyтий, нанесенных безвакуумным плазменным методом ФПУ, – 65 Н.

При плазменном безвакуумном нанесении упрочняющего нанопокрyтия осуществляется перевод жидких





технологических препаратов в парообразное состояние и их перенос в плазму дугового разряда. Образующие продукты плазмохимических реакций, конденсируясь на поверхности подложки, образуют прочно сцепленную с основой пленку покрытия. Процессы конденсации, предшествующие адгезии, непосредственно влияют на величину адгезионной прочности. Для усиления адгезии покрытия может использоваться предварительный подогрев подложки до 100 °С, обеспечивающий испарение молекул воды с поверхности подложки.

На снимке (рис. 4), выполненном на электронном микроскопе фирмы Jeol (Япония) при увеличении $\times 5000$, показан поперечный шлиф плазменного безвакуумного упрочняющего нанопокртия. Визуально наблюдается повторение профиля поверхности основы и отсутствие пористости.

Различие температур наносимого нанопокртия и основы при высокой адгезии покрытия обеспечивает образование в поверхностном слое металла на глубине до 10 мкм остаточных сжимающих напряжений, что повышает усталостную прочность материала. С целью определения влияния безвакуумного плазменного нанесения нанопокртия как окончательного, на технологические остаточ-

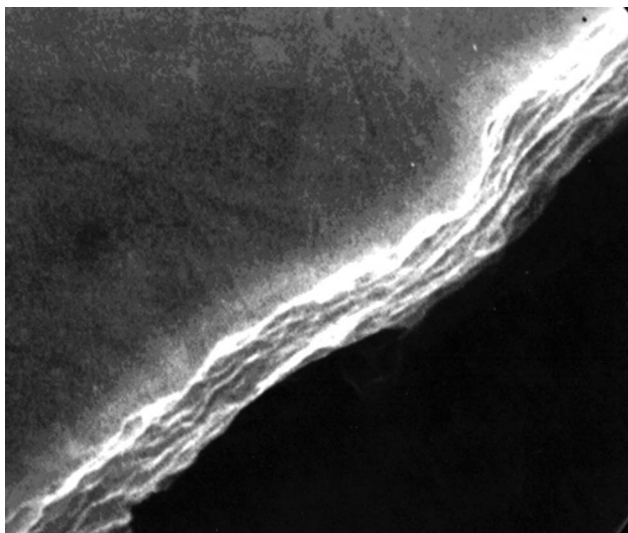
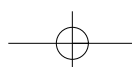


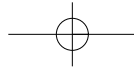
Рис. 4. Поперечный шлиф с покрытием

ные напряжения в поверхностном слое инструментальных сталей, прошедших механическую, термическую и абразивную обработку, были проведены измерения остаточных напряжений. Для этих целей использовалась аппаратура неразрушающего контроля остаточных и эксплуатационных напряжений в металлах и сплавах «Ситон», которая позволяет определять механические напряжения при измерении амплитудно-фазочастотных характеристик. На основании анализа полученных эпюр напряжений было доказано, что после окончательной шлифовальной операции на поверхности образуются растягивающие остаточные напряжения. После безвакуумного плазменного нанесения нанопокртия в подпленочной зоне образуются сжимающие остаточные напряжения порядка – 80 МПа. На этом основании технология безвакуумного плазменного нанесения нанопокртия может быть рекомендована как окончательный финишный процесс обработки поверхностей, работающих в условиях трения и износа, препятствующий распространению трещин и повышающий усталостную прочность.

Измеренное удельное электрическое сопротивление характеризует данное упрочняющее нанопокртие как диэлектрик: $\rho = 10^{-6}$ Ом·м.

Проведенные исследования [7] позволили выявить закономерности изменения микротока, протекающего по цепи: дополнительный источник питания – анод плазмотрона – плазменная струя – изделие при использовании в качестве датчика самой плазменной струи. Это дает возможность автоматизации процесса и измерения толщины наносимого нанопокртия в реальном времени. Экспериментальная проверка показала эффективность данного метода определения толщины наносимого упрочняющего нанопокртия и позволила разработать прибор (рис. 5) контроля нанесения покрытия.





ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ



Рис. 5. Прибор контроля нанесения покрытия

Получаемые в процессе безвакуумного плазменного нанесения нанопокрyтия обладают уникальными свойствами: имеют высокую адгезию к подложке, минимальное контактное схватывание при взаимодействии с материалом контртела, обладают высокой жаростойкостью, являются диэлектриком, обеспечивают низкий коэффициент трения (порядка 0,07 по стали ШХ15) и высокую микротвердость (порядка 34 ГПа).

Изделия с нанесенным нанопокрyтием обеспечивают при низкой себестоимости технологии многократное повышение долговечности (до 10 раз), повышение надежности и качества за счет комплекса физико-механических свойств поверхности, а именно: улучше-

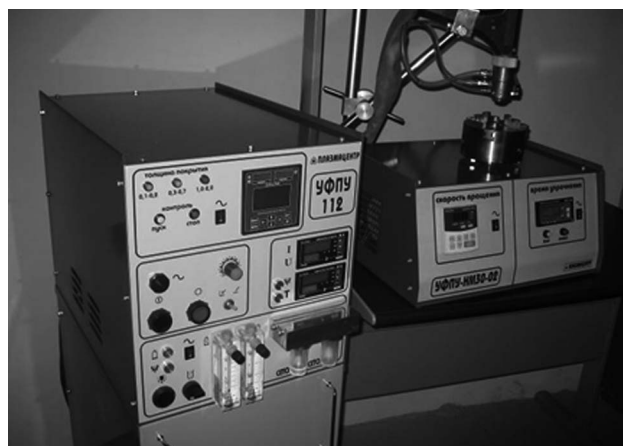


Рис. 6. Установка для финишного плазменного упрочнения УФПУ-112

ния параметров шероховатости, создания в подплечной зоне остаточных сжимающих напряжений, возможность нанесения наноразмерного износостойкого покрытия на детали из сталей с низкой температурой отпуска, деталей в сборе, паяных изделий, деталей из разнородных материалов, имеющих любые габариты, обладающих повышенной газопроницаемостью и др.

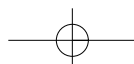
При реализации разработанной технологии используется малогабаритное оборудование с низким потреблением электроэнергии и расходных материалов (рис. 6).

Сравнительные характеристики технологии и оборудования для процессов CVD, PVD и ФПУ приведены в табл.

Таблица

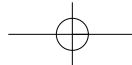
Сравнительные характеристики основных методов нанесения тонкопленочных износостойких покрытий

Характеристика	Метод нанесения покрытия		
	CVD	PVD	ФПУ
1	2	3	4
Характер непрерывности режима осаждения покрытия	Прерывистый (с обязательными остановками на загрузку (выгрузку), охлаждение и чистку камеры)	Прерывистый (с обязательными остановками на загрузку (выгрузку), охлаждение и чистку камеры)	Непрерывный



ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ**Продолжение таблицы 1**

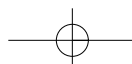
1	2	3	4
Рабочее давление при нанесении покрытия на инструмент	Атмосферное (для CVD) или вакуум (для PECVD)	Вакуум	Атмосферное
Температура инструмента при нанесении покрытия, °С	700–1100 (при CVD-процессах) 400–500 (при PECVD процессах)	200–500	100–120
Зона поверхности инструмента, на которую наносится покрытие	Все поверхности инструмента, в том числе внутренние с внешним доступом	При неподвижном инструменте – только зона, непосредственно обращенная к источнику ионов, при вращении – вся рабочая поверхность, кроме закрытых внутренних зон	Покрытие может быть нанесено на любые локальные зоны, в том числе и внутренние с внешним доступом
Максимальные габариты и форма обрабатываемого инструмента	Габариты ограничены размерами реакционных и вакуумных камер. Возможно нанесение на разнотипный инструмент	Габариты ограничены размерами вакуумных камер. Сложность нанесения покрытий на разнотипный инструмент, паяный инструмент, инструмент из различных материалов, сложно-профильный инструмент, на внутренние поверхности, протяженные и глухие полости, отверстия	Без ограничений
Исходный материал инструмента	Нельзя наносить покрытия на инструмент с низкой температурой отпуска (например, из стали У10, быстрорежущей стали при CVD-процессе)	Нельзя наносить покрытия на инструмент с низкой температурой отпуска (например, из стали У10)	Без ограничений
Предварительная подготовка инструмента	Многооперационная подготовка (обезжиривание, виброабразивная обработка, ультразвуковая мойка, промывка, сушка, обезвоживание)	Тщательная многооперационная подготовка (мойка, сушка, обезвоживание, подогрев)	Достаточным является обезжиривание и подогрев до 60–80 °С



ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

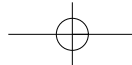
Продолжение таблицы

1	2	3	4
Толщина наносимого покрытия, мкм	2–10 (покрытия увеличивают радиус скругления режущей кромки)	0,1–6 (покрытия толщиной 3-6 мкм увеличивают радиус скругления режущей кромки)	0,01–2
Состав наносимого покрытия	TiC, TiN, TiCN, Al ₂ O ₃	TiN, TiC, TiCN, TiAlN, ZrC, HfN, HfC, CrN, Al ₂ O ₃ и др.	На основе соединений кремния и бора
Микротвердость наносимого покрытия, ГПа	20–24	21–35	52
Коэффициент трения	0,4–0,6	0,1–0,5	0,07–0,15
Температура окисления, °С	400–600	400–1100	1100
Остаточные напряжения в поверхностном слое металла	Высокие растягивающие	Растягивающие	Сжимающие
Необходимость проведения термической обработки после нанесения покрытия	Требуется дополнительная термическая обработка для снятия остаточных напряжений	Не требуется	Не требуется
Расходные материалы	Дорогостоящие высокочистые химические материалы	Дорогостоящие катоды (мишени) вакуумного переплава	Доступные и дешевые материалы: аргон, жидкий технологический препарат Сетол (расход при односторонней работе 0,5 л/год)
Объем камеры, мм	D325x1250 (Bernex VPX 325S) D530x1250 (Bernex VPX Pro 530L)	Ш 400, Г 380, В 520 (PLATIT PL70) O400 – UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПРАКТИК»), O600, H 600 (ННВ 6,6-И1)	Процесс осуществляется без применения камер
Максимальная нагрузка, кг	По твердосплавным пластинам – 200 кг (установка Bernex VPX 325S) 400 кг (установка Bernex VPX Pro 530L)	Осевой инструмент O10x70 – 162 шт. (установка PLATIT PL70) Червячные фрезы D80x180 – 6 шт. (установка PLATIT PL70)	Не ограничивается



ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ**Продолжение таблицы**

1	2	3	4
		Пластины D20x6 – 1248 шт. (установка PLATIT PL70) Осевой инструмент D20x60 – 108 шт. (установка UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПРАКТИК»)) Червячная фреза D80x80 – 32 шт. (установка UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПРАКТИК»))	
Типичное время цикла	3–5 час.	Для PLATIT PL70 – Откачка+нагрев – 50 мин, очистка+травление – 10–20 мин, осаждение (2 мкм) – 1,5 ч, охлаждение (в He) – 20–30 мин Для UNICOAT 600 («ЭЛАН-ПРАКТИК») – откачка – 25 мин., очистка – 20 мин, осаждение (3 мкм) – 120 мин., охлаждение – 15 мин.	От 3 сек до 20 мин
Производительность	3–5 час. на загрузку	3,25 ч. на 162 шт. D10x70 (PLATIT PL70) 6 ч на 6 шт. червячных фрез O80x180 (PLATIT PL70) 3 ч на 1248 шт. пластин D20x6 (PLATIT PL70)	От 15 до 200 мм ² /с упрочняемой поверхности.
Экологические проблемы	Токсичность используемых реагентов, взрывоопасность	Необходимость постоянной вытяжки, обеспечивающей отсутствие паров масла в рабочих помещениях и местной вытяжной вентиляции, включаемой при открытии вакуумной камеры и выгрузке инструмента	Использование местной вытяжной вентиляции при профилактике плазмотрона и плазмохимического генератора
Потребляемая мощность установки, кВт	20–40	60 (ННВ 6,6-И1) 40 (Станкин АПП-950) 60 (Станкин АПП-1600) 15 (PLATIT PL70)	



ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

Окончание таблицы

1	2	3	4
Масса, кг	2000	2000 (Станкин АПП-950) 3200 (Станкин АПП-1600)	110
Минимальная площадь под оборудование, м ²	100–150 (под напыление), 100–150 (для подготовки инструмента)	100–150 (под напыление), 100–150 (для подготовки инструмента)	20
Обслуживающий персонал	Оператор установок вакуумного напыления (PECVD), вакуумщик, электрик, электронщик, рабочие для подготовки инструмента	Слесарь, оператор установок вакуумного напыления, вакуумщик, электрик, электронщик, рабочие для подготовки инструмента	Оператор, рабочий для подготовки инструмента

Литература

1. Handbook of Hard Coatings, Deposition Technologies, Properties and Applications Edited by Rointan F. Bunshah, 2001.

2. Handbook of Thin Film Materials. By Hari Singh Nalwa. Contributor Hari Singh Nalwa Published by Academic Press, 2002.

3. Mattox D. M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing. 1998.

4. Handbook of Chemical Vapor Deposition. Principles, Technology and Applications. By Hugh O. Pierson, Sandia National Laboratories. 1999., 506 p.

5. Куреев В.Ю., Столяров А.А. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение

из газовой фазы. – М.: Техносфера, 2006. – 192 с.

6. Тополянский П.А. Нанесение износостойкого покрытия на инструментальные стали и сплавы с использованием высокочастотного индукционного плазмотрона // Металлообработка. – 2003. – № 5 (17). – С. 27–33.

7. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. – 406 с.

8. Григорьев С.Н., Ильичев Л.Л., Волосова М.А. Нанесение покрытий и поверхностная модификация инструмента. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 393 с.

Уважаемые читатели! Только что вами была прочитана статья, которую вы можете найти, как и множество других научно-познавательных статей и трудов, на страницах сборника: «Труды ГОСНИТИ», включенные в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Тел. для справок 8-499-746-09-40

