

ФОРМЫ +

www.polymerbranch.com

ноябрь 2007

Оснастка для переработки полимерных материалов

Международная специализированная выставка

«Формы. Пресс-формы. Штампы»

RosMould

Россия, Москва,
МВЦ «Крокус Экспо»

17-19 июня 2008



Организатор: ООО «ЭКСПО-МОЛД».

Тел./факс: (495) 131 4801, (495) 131 4774, e-mail: info@rosmould.ru

www.rosmould.ru

Прототипирование
с. 5



Конструирование
с. 16



Технологии
с. 23



Эксплуатация
с. 28



Установка для финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия



Высокоэффективное финишное плазменное упрочнение алмазоподобными покрытиями рабочих поверхностей технологической оснастки и режущего инструмента

П.А. Тополянский, к. т. н.,
генеральный директор НПП «Плазмацентр»
(Санкт-Петербург)

Сообщается о результатах исследования, преимуществах, техническом оснащении и опыте применения нового метода финишного плазменного упрочнения алмазоподобными покрытиями рабочих поверхностей технологической оснастки и режущего инструмента.

В последнее время появились публикации о применении алмазных и алмазоподобных пленок для упрочнения режущего инструмента [1 – 3]. Реализация этих процессов основана на использовании дорогостоящего и сложного вакуумного оборудования. Повышение долговечности инструмента и технологической оснастки за счет нанесения алмазоподобного, тонкопленочного (толщиной до 3 мкм) покрытия в безвакуумном пространстве относится к новому направлению промышленных технологий [4, 5]. Отличительными особенностями этого метода являются минимальный нагрев изделий при обработке, составляющий порядка 100 °С, а также использование малогабаритного и маневренного оборудования, не требующего вакуума. Данный процесс упрочнения изделий, изготавливаемых с помощью традиционных методов, используется на заключительной стадии их производства, поэтому он назван финишным плазменным упрочнением (ФПУ).

Основным принципом нанесения алмазоподобного покрытия, взятым за основу технологии ФПУ, является разложение паров жидких технологических препаратов, вводимых в плазмохимический генератор дугового плазмотрона, с последующим прохождением плазмохимических реакций и образованием покрытия на изделии.

Процесс протекает в несколько стадий:

- создание устойчивого потока плазмы дугового разряда;

- испарение технологических препаратов и перенос их паров в плазму дугового разряда;
- получение в дуговом канале плазмохимического генератора направленного пароплазменного потока;
- прохождение плазмохимических реакций между заряженными и возбужденными частицами в плазме дугового разряда с образованием новых видов частиц и соединений и их перенос плазменной струей к изделию;
- конденсация продуктов реакций на изделии при воздействии факела плазменной струи на поверхность;
- взаимодействие между адсорбированными осажденными продуктами реакций и граничным слоем поверхности изделия, приводящее к зарождению и росту покрытия.

Эти же стадии протекают и в известных процессах физического осаждения покрытий из паровой фазы в вакууме (так называемые методы PVD). Однако, в отличие от них, в процессе ФПУ покрытие образуется при температуре и давлении окружающей среды без использования вакуумных камер. Кроме того, износостойкие покрытия, наносимые в вакууме методами PVD на подложку с температурой поверхности менее 250 °С, обычно имеют к ней низкую адгезию.

В качестве источника тепловой энергии для нанесения алмазоподобного покрытия при ФПУ используется плазменная струя, истекающая при атмосферном давлении из малогабаритного дугового плазмотрона,

оснащенного плазмохимическим генератором. Использование плазменной струи косвенного действия предопределяет локальность воздействия, возможность упрочнения изделий любых габаритов и во всех пространственных положениях, а также гибкость в управлении.

В качестве плазмообразующего газа, используемого в оборудовании для ФПУ, выбран аргон, применение которого основывается на требованиях долговечности и надежности элементов плазмотрона и плазмохимического генератора при длительном ведении процесса. При этом стойкость катодного и анодного узлов достигает порядка 1000 ч непрерывной работы.

В результате длительных испытаний различных конструкций плазмотронов для использования в процессе упрочнения была выбрана схема плазменной струи косвенного действия с фиксированной длиной дуги, обеспечивающая возможность достижения необходимых температур и скоростей плазменной струи в области малых токов дуги. Конструктивно плазмотрон (фото 1) имеет две автономные части. Первая часть состоит из катодного и соплового узлов, вторая часть представляет собой плазмохимический генератор, который включает анодный узел с межэлектродными вставками, узел ввода паров технологических препаратов и формирователь потока.

В качестве материалов покрытий, используемых для повышения стойкости инструмента и оснастки при процессах вакуумного ионно-плазменного напыления, применяются покрытия из тугоплавких химических соединений типа TiN, TiC, TiCN, TiAlN, ZrC, HfN, HfC, CrN, Al₂O₃. В процессах электроискрового легирования применяют покрытия из твердых сплавов (T15K6, T17K12, BK6, BK8, BK20 и др.), материалов на основе карбидов и боридов металлов (TiC, WC,

Mo₂B₅, CrB₂, TaB₂ и др.), графит и др. При высокочастотном плазменном осаждении наносятся покрытия из оксикарбида кремния, получаемые за счет плазмохимического синтеза паров элементов и соединений, образующихся при испарении кварцевых стержней с парами этилового спирта.

На основе анализа свойств перспективных материалов было предложено реализовать при ФПУ нанесение покрытия из оксикарбонитрида кремния. Целый ряд характеристик этого покрытия приближается по уровню значений к свойствам алмаза: высокая твердость (порядка 52 ГПа), низкий коэффициент трения (0,04 – 0,08 по стали ШХ15), химическая стойкость к кислотам и щелочам, высокое удельное электрическое сопротивление (10¹⁰ Ом·м), прозрачность и др.

Для условий плазмохимического осаждения такого покрытия требуется наличие в плазменной струе компонентов в ионизированном или атомарном состоянии. В целях сохранения малых габаритов и маневренности выбранного источника тепловой энергии – дугового плазмотрона – следует ориентироваться на способ подачи исходных веществ в дуговой канал в газообразном виде. Однако подача таких элементов, как кремний и углерод, в плазменную струю в газообразном состоянии затруднена. Можно получать требуемые компоненты путем разложения химических соединений, содержащих необходимые элементы, непосредственно в реакционной камере плазмохимического генератора с инертной атмосферой и при высокой температуре, поддерживаемой дуговым разрядом. В качестве исходных веществ для получения покрытия на основе оксикарбонитрида кремния целесообразно использовать металлоорганические и органические соединения в жидком состоянии, которые и применяются для ФПУ. Расход технологических препаратов при одноосменной работе установки не превышает 0,5 л/год.

Одной из основных особенностей ФПУ, связанной с повышенными скоростями охлаждения осаждаемого покрытия и наличием элементов-аморфизаторов, является аморфное состояние наносимого покрытия. Известно [6], что в аморфных материалах отсутствуют дефекты, характерные для кристаллических тел. В них нет границ зерен, дислокаций, их структура гомогенна, диффузия по вакансиям более затруднительна, они изотропны. Аморфные покрытия применяются в качестве барьерных пленок, предотвращающих быструю диффузию, пассивирующих пленок, повышающих коррозионную стойкость материалов и препятствующих коррозионному растрескиванию под напряжением и водородному охрупчиванию.

Наносимое покрытие при ФПУ повторяет профиль подложки. На фото 2 (а) показан поперечный шлиф, полученный с помощью многоцелевого сканирующего (растрового) микроскопа JSM-6460LV. В покрытии отсутствуют микротрещины, несплошности, поры и другие дефекты. Формируется упрочняющее покрытие в виде оптически прозрачной пленки, которая на полированной поверхности дает интерференционную



Фото 1. Плазмотрон с плазмохимическим генератором для ФПУ

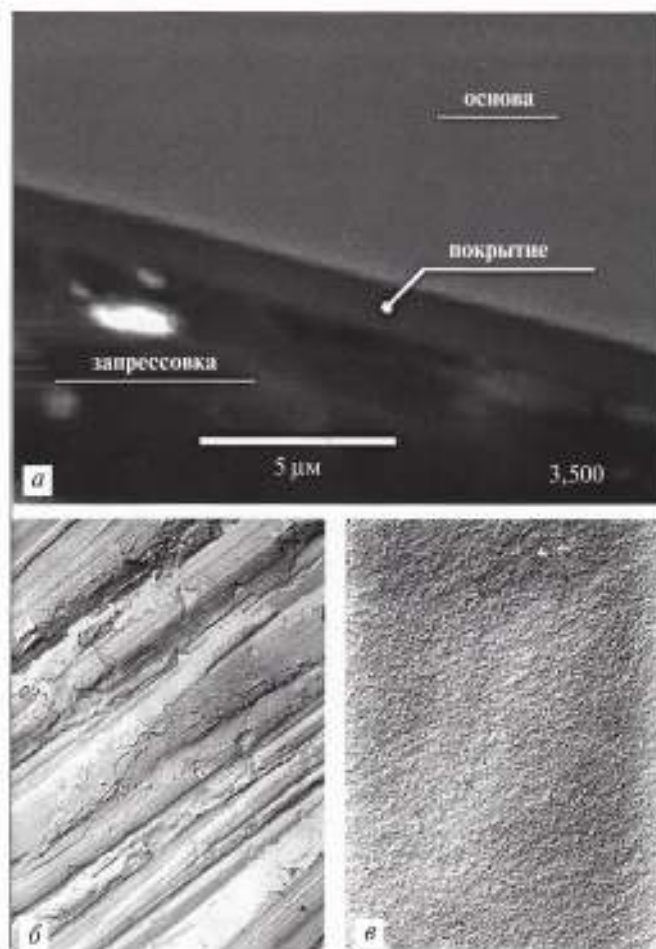


Фото 2. Поперечный шлиф образца с покрытием, полученным при ФПУ ($\times 3500$) (а), и микро рельеф его поверхности до (б) и после (в) ФПУ ($\times 5000$)

картину с радужными оттенками от фиолетово-голубого до красно-зеленого цвета.

Сравнительные характеристики адгезионных свойств покрытия, наносимого методом ФПУ, и покрытия из нитрида титана, наносимого ионно-плазменным напылением в вакууме по оптимальному режиму на установке ННВ-6,6И1, исследовались склерометрическим методом (методом царапания). В качестве основы использовалась термообработанная инструментальная сталь Р6М5. В качестве индентора применялся алмазный конус Роквелла с углом при вершине 120° , передвигаемый по поверхности покрытий со скоростью 30 мм/мин. Вертикальная нагрузка на индентор увеличивалась до тех пор, пока не достигалась ее критическая величина, при которой покрытие полностью отделялось от подложки. Данную критическую нагрузку определяли, исследуя полученные царапины с помощью металлографического микроскопа. В результате данных исследований было выявлено, что критическая нагрузка, при которой появлялись первые сколы и отслоение покрытия из нитрида титана, составляла 35 Н, а для покрытий, нанесенных методом ФПУ, – 65 Н. Повышенная адгезионная прочность покрытия при ФПУ основана на образовании химической связи с граничным слоем поверхности подложки, который в случае нанесения покрытия на инструментальные материалы состоит из оксидов железа.

Субмикрорельеф рабочих поверхностей образцов, исследовавшийся с помощью просвечивающего электронного микроскопа ЭММА-2 методом углеродно-серебряных реплик, показал высокооднородную характерную топографию, присущую поверхностям после ФПУ (см. фото 2, в), в то время как субмикрорельеф поверхностей до ФПУ (см. фото 2, б) имел явно выраженные многообразные следы – риски и дефекты от предшествующей абразивной обработки. Изменение топографии поверхности после ФПУ является подтверждением того, что покрытие осаждается на микродефектах поверхности, залечивая тем самым дефектные зоны, образованные при предшествующей шлифовальной операции.

Наносимое покрытие, являясь диэлектриком, образует пленочный барьер, препятствующий схватыванию контактируемых поверхностей. Кроме того, это покрытие обладает повышенной коррозионной стойкостью и жаростойкостью, что подтверждается длительными испытаниями образцов на воздушную коррозию при температурах до $1000 - 1200^\circ\text{C}$.

Значения параметров шероховатости поверхности (по ГОСТ 2789 и по международному стандарту EN ISO 13565-2:1996, который соответствует немецкому национальному стандарту DIN 4776) до и после ФПУ приведены в табл. 1. Для исследований использовали измерительно-вычислительный комплекс «Профиль», включающий стандартный профилограф-профило-



ООО "ПОЛИПАК"

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕСС-ФОРМ

ДЛЯ ЛИТЬЯ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТАХ

- ◆ подготовка конструкторской документации и анализ технологичности пресс-форм, с использованием SolidWorks, PRO/Engineer, AutoCAD, MasterCam, MoldFlow
- ◆ 3D-проектирование изделий и их анализ с учетом особенностей литья и проливаемости
- ◆ собственное оборудование для металлообработки (в том числе AGI) и для термообработки



- ◆ OEM литье на термопластавтоматах до 2 кг
- ◆ официальный представитель компаний CHEN HSONG – производителя термопластавтоматов и MING LEE – производителя периферийного оборудования

ООО «ПОЛИПАК»
141980, г. Дубна,
Московской обл.,
ул. Тверская, д.26-а

☎ +7 (495) 777-01-72
☎ +7 (49621) 2-92-79, 7-00-00
☎ +7 (49621) 2-46-32
www.polipak.ru
e-mail: order@polipak.ru

Таблица 1. Параметры шероховатости поверхности до и после ФПУ при различном исходном значении параметра R_a

№	Поверхность	Параметры шероховатости поверхности								
		по ГОСТ 2789					по DIN 4776			
		R_a	R_z	R_{max}	S	S_m	R_{pk}	R_k	R_{sk}	$R_{pk} + R_k$
1	До	0,08	0,54	0,69	18,12	35,80	0,35	0,22	0,12	0,57
	После	0,07	0,39	0,44	17,50	31,54	0,10	0,20	0,14	0,30
2	До	0,43	2,82	4,17	21,84	44,82	2,09	1,25	0,83	3,34
	После	0,38	2,37	2,85	22,63	53,23	0,71	1,00	1,14	1,71
3	До	0,72	3,89	5,07	18,12	116,14	0,89	2,66	1,52	3,55
	После	0,31	2,44	3,47	17,50	35,99	0,69	0,69	1,27	1,39

Примечание. Расшифровка условных обозначений дана в тексте.

метр 201, персональный компьютер, интерфейс связи профилографа с компьютером и пакет прикладных программ.

Анализ приведенных в табл. 1 значений параметров шероховатости по ГОСТ 2789 показывает, что после нанесения покрытия высотные и шаговые параметры изменяются следующим образом:

- среднее арифметическое отклонение профиля R_a при минимальном исходном значении практически не изменяется, а по мере увеличения исходного значения данный параметр уменьшается более чем в 2 раза;
- высота неровностей профиля по десяти точкам R_z уменьшается в среднем в 1,4 раза;
- наибольшая высота неровностей профиля R_{max} уменьшается в среднем в 1,5 раза;
- средний шаг местных выступов профиля S практически не изменяется;
- средний шаг неровностей профиля S_m для малой исходной шероховатости поверхности практически не изменяется, а с увеличением исходной шероховатости уменьшается более чем в 3 раза (происходит заполнение покрытием крупных впадин шероховатости).

Анализ параметров шероховатости по стандарту DIN 4776 показывает, что после нанесения покрытия эти параметры изменяются следующим образом:

- параметр R_{pk} , характеризующий высоту выступов, быстро изнашивающихся в первый период эксплу-

атации, для минимальной исходной шероховатости уменьшается в 3 раза и практически мало изменяется с увеличением исходной шероховатости (начиная с $R_a = 0,72$ мкм);

- параметр R_k , характеризующий основу профиля, которая длительное время находится в работе и является несущей площадью по мере срабатывания наружных слоев, уменьшается для минимальной исходной шероховатости незначительно, а с увеличением исходной шероховатости уменьшается более чем в 3 раза;
- параметр R_{sk} , характеризующий глубину впадин профиля и соответственно смазывающую способность, изменяется незначительно;
- сумма параметров $(R_{pk} + R_k)$, характеризующая изнашиваемость рабочих поверхностей, уменьшается примерно в 2 раза.

Результаты данных исследований показывают, что процесс ФПУ ведет к уменьшению параметров шероховатости, повышению несущей площади поверхности и ее износостойкости по критерию $(R_{pk} + R_k)$. Изменение характеристик шероховатости после нанесения покрытия, исследованное на основании профилограмм и параметров опорной поверхности, является подтверждением микрореологической теории, обосновывающей адгезию наносимого покрытия за счет заполнения впадин шероховатости поверхности и соответственно увеличения площади

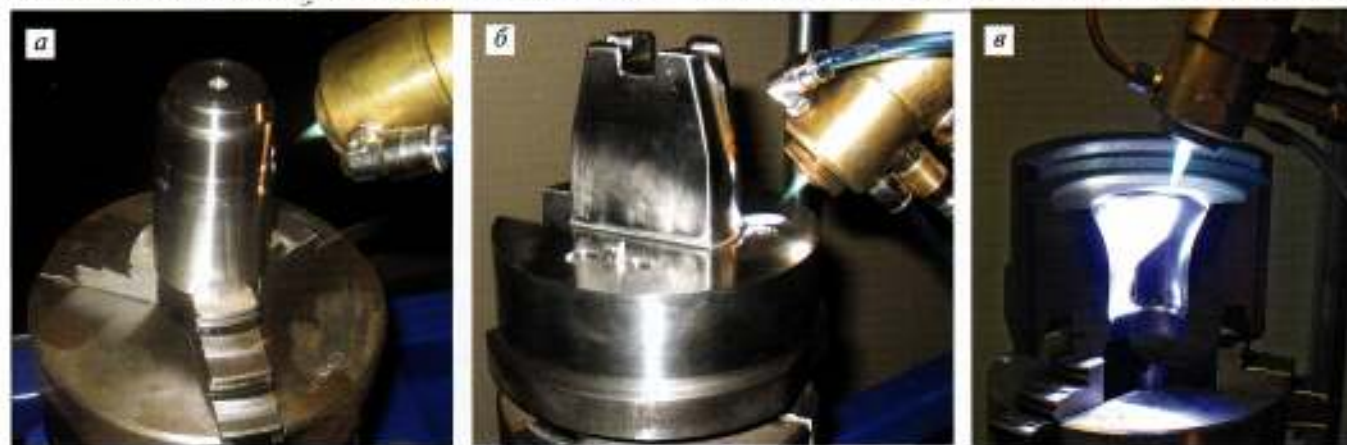


Фото 3. Практические примеры финишного плазменного упрочнения: а – знака пресс-формы (производитель: ЗАО «Пустынь», Арзамас; достигнуто повышение стойкости в 4 раза); б – вставки литейной формы (производитель: ОАО «Саранский приборостроительный завод», Саранск; достигнуто повышение стойкости в 6 раз); в – стеклоформирующей оснастки (производитель: ООО «ТД Азовстекло», Ростов-на-Дону; достигнуто повышение стойкости в 4 раза)

Таблица 2. Результаты промышленных испытаний технологической оснастки и режущего инструмента после ФПУ (некоторые типичные примеры)

Изделие (технологическая оснастка или режущий инструмент)	Материал		Стойкость (шт., ч, смен)		K	Организация, проводившая испытания
	изделия	обработки плазмой заготовки	до упрочнения	после упрочнения		
Штамп вырубки и пробивки	X12M	Ст65Г	5000 шт.	17000 шт.	3,4	«ГАЗ», Нижний Новгород
Штемпель чеканочный	X12M	ЛМц58-2	165000 шт.	380000 шт.	2,3	«Монетный двор», Санкт-Петербург
Штамп для горячей высадки	3X2B8	Ст20	2000 шт.	4000 шт.	2,0	«ГАЗ», Нижний Новгород
Штамп гибочный	У10	Медь М1	15000 шт.	90000 шт.	6,0	«Электросила», Санкт-Петербург
Штамп развальцовочный	X12MФ	Ст65Г	700 шт.	3100 шт.	4,4	«АвтоВАЗ», Тольятти
Литейная форма	4X5MФС	ЛШ16К4	400 шт.	5500 шт.	13,0	«Приборостроительный завод», Саранск
Сверло Ø 5	P6M5	AK7	300 шт.	4080 шт.	13,6	«Топливные системы», Санкт-Петербург
Развертка Ø 8	P6M5	Al-Si	2,5 ч	15,3 ч	6,5	«Прогресс», Санкт-Петербург
Твердосплавные пластины	BK6	Ст25Л	2 корпуса	20 корпусов	10,0	«Знамя Труда», Санкт-Петербург
Фреза фасонная	P6M5	Ст AC-14	5500 шт.	16500 шт.	3,0	Автоагрегатный завод, Димитровград
Фреза чистовая	P18	СтP2MA (24Г НВ)	5 пазов	8 пазов	1,6	«Ленинградский металлический завод», Санкт-Петербург

Примечание. K – относительное повышение стойкости.

фактического контакта и числа связей между покрытием и подложкой.

На фото 3 приведены различные примеры практического применения ФПУ (установка для осуществления ФПУ показана на фото у заголовка статьи). Повышение эффективности эксплуатации технологического оборудования для ФПУ достигается использованием специализированных систем диагностирования (в реальном масштабе времени) динамических параметров, определяющих надежность технологического процесса и качество получаемых покрытий. В табл. 2 представлены некоторые типичные примеры результатов промышленных испытаний отдельных деталей технологической оснастки и режущих инструментов, полученных на различных предприятиях, после ФПУ.

Таким образом, практикой промышленного применения убедительно доказано, что ФПУ является высокоэффективным и перспективным методом повышения стойкости деталей технологической оснастки и режущего инструмента, который позволяет снизить количество покупных и изготавливаемых изделий, увеличить производительность труда за счет уменьшения времени для переналадки и настройки оборудования, а также за счет повышения скорости обработки.

Литература

1. Цыганов Д.Л., Сазонов М.И. Исследование стойкости режущего инструмента, оснащенного твердосплавными пластинами с алмазоподобными пленками// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005, № 4. – С. 31-35.

2. Саян Н.И. Технологические особенности нанесения многослойных покрытий на основе углерода на матрицы и пуансоны пресс-форм// Материалы 7-й Международной практической конференции «Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки». – Санкт-Петербург, 2005, изд-во СПбГПУ, 2005. – С. 354-357.

3. Григорьев С.Н., Волосова М.А. Нанесение покрытий на инструмент. – М.: Изд-во «ИТО», 2007. – 68 с.

4. Тополянский П.А., Соснин Н.А., Ермаков С.А. Малогабаритное оборудование для финишного плазменного упрочнения штампов и инструмента// Автоматизированные и современные технологии. – 1995, № 9. – С. 2-3.

5. Тополянский П.А. Финишное плазменное упрочнение инструментов, штампов, пресс-форм, ножей, фильер, подшипников качения и других деталей машин// Сварщик. – 1999, № 5. – С. 10-11.

6. Судзуки К., Фудзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.

High efficiency finish plasma hardening of process tooling and cutting tool working surfaces using diamond-like coatings

P.A. Topoliyansky

Results of investigations, advantages, technical equipment and application experience connected with a new method of finish plasma hardening of process tooling and cutting tool working surfaces using diamond-like coatings are presented.