



А.Л. Голозубов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ
ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Рассмотрено новое направление в технологии поверхностного упрочнения металлических поверхностей – нанесение тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий из дуговой плазмы при атмосферном давлении. Определены перспективные пути развития технологии – использование металлоорганических соединений и плазмы дугового разряда.

Исторически сложилось так, что первоначально основной областью применения тонкопленочных покрытий (ТП) являлась радиоэлектронная промышленность, где к качеству пленок предъявлялись такие специфические требования, как стехиометричность химического состава и эпитаксиальность роста, что и предопределило пути технического развития, связанные преимущественно с вакуумными технологиями, позволяющими получать ТП высокого качества.



Исследования в области развития технологии нанесения ТП показали принципиальную возможность применения плазменных технологий, существенно расширяющих область их использования. Покрытия, получаемые из плазмы, имеют незначительные посторонние примеси в своем составе и несовершенства роста, что делает невозможным их использование в электронной промышленности, в то же время такие ТП можно эффективно использовать в машиностроении, т. к. повышение степени несовершенства структуры вызывает улучшение эксплуатационных характеристик с точки зрения упрочняющих покрытий (микротвердость, износостойкость, адгезия).

Защитные покрытия, наносимые существующими методами упрочнения, как правило, требуют последующей механической обработки упрочненной поверхности, что часто затруднено ее высокой твердостью, вязкостью или другими специфическими свойствами, а также возможностью отслоения покрытия от подложки в процессе обработки. Поэтому разработка новых методов упрочнения деталей, исключая последующую механическую обработку на финишных стадиях изготовления, является актуальной задачей. Улучшить показатели шероховатости поверхности и повысить ее триботехнические свойства позволяет нанесение износостойких ТП толщиной до 2 мкм из дуговой плазмы. Высокая точность нанесения ТП по толщине (до 0,3 мкм) позволяет применять разработанный технологический процесс для упрочнения контактирующих поверхностей прецизионных узлов трения, штамповой оснастки и других деталей, не допускающих последующей механической обработки из-за высоких требований к точности изготовления и сборки.

Нанесение ТП из дуговой плазмы с применением металлоорганических соединений (МОС) является новым направлением в технологии нанесения защитных покрытий и отличается от известных технологических процессов, связанных со способом подачи МОС в плазму в паровой фазе, простотой и надежностью.

Наиболее перспективным методом является метод осаждения из газовой фазы, который получил распространение благодаря синтезированию летучих МОС. Физической основой метода получения ТП из МОС является их способность выделять чистые вещества или их соединения в конденсированной фазе в результате воздействия различных видов энергии. Достоинствами метода термического разложения МОС для получения ТП являются:

- ведение процесса при атмосферном давлении;
- получение покрытий широкого спектра: окислов, нитридов, карбидов, а также их сочетаний в различных пропорциях;
- нанесение покрытий одинаковой толщины на горизонтальные и вертикальные поверхности сложной конфигурации;
- высокая адгезия получаемых ТП;
- высокая производительность процесса.

Среди способов термического разложения МОС наиболее перспективным является использование плазмы газового разряда. Основным преимуществом данного способа является способность осаждения тонких пленок на подложки, имеющие комнатную температуру. Преимущества дуговых плазмотронов:

- высокая удельная мощность (102–107 Вт);
- достижение высоких температур ($10\text{--}25 \cdot 10^3$ К);
- высокая скорость истечения плазмы ($1\text{--}10^4$ м/с);
- хорошая управляемость энергетическими, тепловыми, газодинамическими параметрами и возможностью автоматизации;



- отсутствие ограничений по размерам и массе обрабатываемых деталей;
- незначительный разогрев подложки;
- возможность проведения процесса при атмосферном давлении.

Учитывая способ подачи МОС в реакционную камеру плазмотрона – парообразное состояние, наиболее приемлемым является дуговой плазмотрон косвенного действия. Генерируемая в таком плазмотроне плазма свободно истекает из канала, что обеспечивает некоторый промежуток времени, 10^{-1} – 10^{-3} с, необходимый и достаточный для протекания процесса термического разложения МОС (10^{-5} – 10^{-7}) [1].

С точки зрения технологии, следует отметить возможность осаждения ТП на подложки, имеющие комнатную температуру или с незначительным нагревом, при обработке предварительно термоупрочненных стальных подложек, что затруднительно или невозможно при использовании других способов. Отсутствие необходимости последующей термообработки термически упрочняемых подложек значительно повышает эффективность использования плазмы газового разряда.

Малая толщина ТП, а также особенности осаждения из газовой фазы позволяют получать качественные покрытия на поверхностях, расположенных под различными углами к плазменной струе. Отличительная способность метода – возможность нанесения ТП в сквозных отверстиях малого диаметра, что исключено при применении других методов.

Пример развития технологии нанесения ТП позволяет заключить следующее:

1. Разработка новых конкурентоспособных ресурсосберегающих технологических процессов должна производиться на основе всестороннего анализа существующих технологий с использованием информации, содержащейся в создаваемых базах данных.

2. Для повышения эффективности необходимо тесное сотрудничество специалистов различных отраслей, допускающее свободный обмен информацией, для чего необходимо решить проблему повышения качества услуг сети Интернет по Республике Беларусь.

3. Для активизации процесса внедрения новых технологических процессов необходимо проведение тендеров, заявляемых предприятиями, с участием возможно большего числа участников из числа представителей различных исследовательских учреждений (академические институты, НИИ учебных вузов и т. д.).

4. Сдерживающим фактором внедрения новых технологических процессов является недостаточная активность предприятий по внедрению новых технологий, поэтому необходима разработка новых подходов, стимулирующих предприятия не только на внедрение инновационных технологий, но и на их участие в роли заказчиков на разработку новых НИР.

Литература

1. Голозубов, А.Л. Взаимодействие плазменной струи с подложкой при нанесении тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий осадений из дуговой плазмы // Высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления свойств поверхности материала : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 кн. / ФТИ НАН Беларуси ; ред. кол. : С.А. Астапчик (гл.ред.) [и др.] – Минск, 2009. – Кн. 2. – С. 82–87.

Тезаурус

Металлоорганические соединения – органические соединения, содержащие в молекуле помимо углерода и водорода любой металл.



Плазма дугового разряда – плазму для обработки материалов получают в электрическом (дуговом, высокочастотном) разряде. С этой целью струю рабочего газа пропускают через столб дугового разряда (постоянного или переменного тока) в специальных устройствах – плазмотронах.

Дуговой плазмотрон – газоразрядное устройство для получения низкотемпературной плазмы, где плазмообразующее вещество нагревается, проходя через сжатую электрическую дугу с высокой концентрацией энергии (мощность 100Вт–10МВт).

Резюме

Голозубов А.Л. Использование низкотемпературной плазмы для реализации плазмохимических процессов нанесения тонкопленочных защитных покрытий.

Рассмотрено новое направление в технологии поверхностного упрочнения металлических поверхностей – нанесение тонкопленочных кремнийсодержащих покрытий из дуговой плазмы при атмосферном давлении. Определены перспективные пути развития технологии – использование металлоорганических соединений и плазмы дугового разряда.