

УДК 66-965

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО СЛОЯ ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ**

Круглов Павел Юрьевич

*Студент 4 курса,  
кафедра «Машины и обработка металлов давлением»  
Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: Курганова Ю. А.,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и обработка  
металлов давлением»*

Совершенствование технических систем различного назначения в современных условиях жесткой конкуренции и повышенных требований к точности, надежности, экологической безопасности и функциональности изделий невозможно без комплексного использования достижения в областях технических наук: теория обработки металлов давлением, машиноведение, материаловедение.

В настоящее время композитные материалы являются наиболее перспективными конструкционными материалами в машиностроении благодаря комплексу свойств, приобретаемых при совмещении разнородных материалов. Особенностью материалов данной группы является возможность формирования не только целостных деталей, но и сложных композиций. Основной комплекс свойств в большинстве случаев эксплуатации деталей обеспечивается поверхностными слоями. Достижение данных характеристик может быть реализовано путем создания функционального поверхностного композитного слоя [1].

Рабочие части инструмента – штампа работают в условиях повышенного износа, высоких удельных давлений, достигающих 2000-2500 МПа, и больших температурных перепадов вызванных процессом деформирования. Частые поломки штампов, проявление неремонтируемых дефектов, а, следовательно, низкая работоспособность препятствуют эффективной производительности штамповочного производства. Это представляет собой достаточно серьезную проблему, поскольку не позволяет эффективно изготавливать соответствующие современным требованиям детали изделий машино- и приборостроения. Так же к проблемам современного штамповочного оборудования можно отнести отсутствие эффективных и внедренных в производство способов, которые позволяют решать эти проблемы. Основные дефекты штампов и матриц: трещины, сколы, выгарыны.

Существенно снизить количество таких дефектов позволяет метод плазменного напыления порошковых алюмокерамических покрытий, с помощью установки электроплазменного напыления.

Актуальность работ данного направления заключается в массовой потребности увеличения ресурса формообразующего инструмента.

Основной целью данной работы является увеличение ресурса работы формообразующего инструмента, а так же уменьшения количества переходов технологических операций путем плазменного напыления высокоизносостойких покрытий на рабочую поверхность. [Рис.1-2].



Рис.1. До напыления



Рис.2. После напыления

Актуальность работ данного направления заключается в массовой потребности увеличения ресурса формообразующего инструмента.

Основной целью данной работы является увеличение ресурса работы формообразующего инструмента путем плазменного напыления высокоизносостойких покрытий на рабочую поверхность.

Для достижения поставленной цели были сформулированы две группы задач:

Первая - подбор оптимального фазового и химического состава напыляемой смеси, выбор методов предварительного очищения поверхности и ее активации, выбор режимов работы плазмотрона, конфигурации смесителя, подбор газовой смеси; определение расстояния от сопла плазмотрона до стола и времени контакта (напыления).

Вторая - анализ полученных образцов, формирование базы данных по подбору состава напыляемой смеси и режимов напыления, оценка результатов.

Современное плазменное напыление развивается по трем основным направлениям. Напыление в струе защитного газа, напыление в условиях динамического вакуума напыление в контролируемой среде. При

плазменном напылении порошковых покрытий процесс взаимодействия материалов покрытия и поверхности подложки в значительной степени зависит от состояния последней. Вследствие этого применяют различные способы очистки и активации напыляемой поверхности. Используемые в настоящее время механические, химические и электрические методы подготовки поверхности имеют ряд ограничений по своим возможностям. Основным недостатком этих методов состоит в том, что они проводятся в атмосфере воздуха или защитного газа. Активность напыляемой поверхности в этом случае быстро падает из-за адсорбции газов и окисления. Механическим методом нельзя обрабатывать изделия из тонких материалов, при химической обработке остаются следы химических реакций – это снижает адгезию [2-3].

В данном методе напыление покрытий производится с использованием газовых разрядов, возбуждаемых в контролируемой среде, в которой производится напыление. При этом процессы активации поверхности и плазменного напыления совмещаются в одном вакуумном объеме - это является уникальностью и существенным отличием данного метода. Газоразрядная среда является “бесконтактным методом”, позволяющим обрабатывать изделия из тонких материалов. Полученные образцы анализируются металлографическим методом, методом неразрушающего контроля остаточных напряжений на приборе СИТОН-АРМ. Использование газовых разрядов, возбуждаемых в контролируемой среде, в которой производится напыление, позволяет получать уникальное по своим свойствам покрытие.

Новизной данного метода является напыление материалов разного фазового состава, а так же разработанный и ранее не используемый способ напыления. А так же получение деталей, в результате комбинации физико-химических методов обработки поверхности, с уникальным поверхностным слоем.

Метод обеспечивает повышение коэффициента использования деформируемого материала за счет перераспределения тангенциальных и касательных напряжений в заготовке, формирование облегченного скольжения дислокационных структур, формирующих состояние оптимального прохождения процесса деформирования.

Имеется патент на изобретение «Способ получения композиционных покрытий на основе алюминиевых сплавов» №2353703. А также патент на полезную модель № 67902 «Устройство для механического легирования материалов на основе цветных сплавов частицами керамики».

Напыление осуществлялось на установке ПП-25 Саратовского государственного технического университета [2-4], при участии д.т.н., президента научно-промышленной ассоциации «Плазма Поволжье», профессора Лясникова В.Н.

Принцип работы данной установки заключается в генерации потока низкотемпературной плазмы воздуха или продуктов горения углеводородного газа в воздух. В сформированный поток плазмы вводится

порошкообразный материал и направляется на предварительно подготовленную поверхность детали. Частицы напыляемого материала (рисунок 3) в струе плазмы нагреваются и ускоряются и, попадая на поверхность детали, сцепляются (сплавляются) с ней и образуют плотное покрытие. Толщина слоя зависит от количества, введенного в плазменную струю порошкового материала и относительной скорости перемещения плазмотрона и напыляемой детали [4]. Характеристики напыляемого материала приведены в таблице 1.



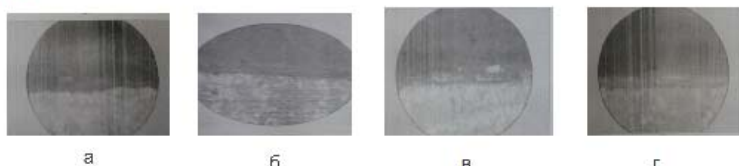
Рис. 3. Напыляемый порошок

Таблица 1. Характеристики напыляемого материала

Материал	Размеры частиц	Процентное содержание в составе порошка		
		50%	70%	88%
Порошок AL	2 мкм	50%	70%	88%
Порошок SiC	28–35 мкм	50%	30%	12%

Разработана блок схема плазменного напыления, позволяющая, исходя из эксплуатационных характеристик инструмента, а так же вида подложки и степени ее подготовки, подобрать оптимальный фазовый и химический состав напыляемого порошка. И режим работы плазмотрона.

Так же было проведено исследование образцов на адгезию, на основе этих испытаний была получена зависимость уровня адгезии от дистанции напыления и материала подложки (рисунок 4).



Морфология покрытия Амг-1+5% SiC на подложку из стали 3 дистанция напыления: а 80мм, б 60мм, в 45мм, г 45мм на подложку из Д16

Схема измерения адгезии

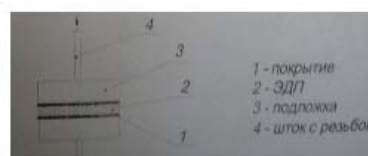


Рис.4. Зависимость уровня адгезии от дистанции напыления и материала подложки

Были проведены испытания на зависимость пористости от дистанции напыления. Полученная графическая зависимость позволяет подобрать оптимальную дистанцию для минимизации пористости (рисунок 5).



Исходные образцы(Сталь 3 и Д16) – диаметр 20мм, h16мм.

График изменения пористости от дистанции напыления

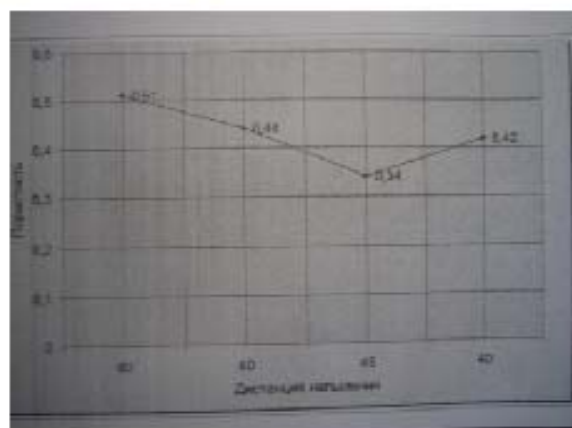


Рис. 5. Зависимость пористости от дистанции напыления

### Описание продукта или услуги

Технология плазменного напыления композитного покрытия, позволяющая повысить ресурс формообразующего инструмента.

### Маркетинговый анализ

Штамповочное производство нуждается в массовой потребности увеличения ресурса формообразующего инструмента. Низкая работоспособность препятствуют эффективной производительности. Так же к проблемам современного штамповочного оборудования можно отнести отсутствие эффективных и внедренных в производство способов, которые позволяют решать эти проблемы.

### Стратегия продвижения товара

Основными потребителями является весь спектр машиностроительного производства. В Ульяновской области это ОАО «УЗТС», ОАО «УАЗ», ЗАО «Автодетальсервис», ОАО «Утес», ОАО «УМЗ», ЗАО «Авиастар». А также ОАО «ТВЕРЬТОРФ» ЗАО «ТВЕРЬРЕГИОНТОРФ» в Твери.

## **Финансовый план**

Необходимость приобретения оборудования общей стоимостью 200 тыс. руб. Расчет всех денежных потоков проекта будет приведен в условиях реального производства, с учетом номенклатуры изделий и объемов производственных партий.

## **Материальные затраты**

- Затраты на порошок составляют 63000 руб. за 1 тонну.
- Затраты на аргон при эксплуатации установки составляют 26,1 руб/ч.
- Общие затраты на воду при эксплуатации установки составляют 6,6 руб/ч.
- Затраты на электроэнергию при эксплуатации установки составляют 7,3 руб/ч.

## **Затраты времени**

Время упрочнения пуансона вырубного штампа диаметром 50 мм составляет порядка 5 мин, время упрочнения матрицы гибочного штампа площадью 20 см<sup>2</sup> составляет порядка 7 минут.

## **Планируемые этапы работы**

Научные результаты проекта планируется оформить в виде базы данных подбора смеси порошков и режимов напыления в зависимости от вида инструмента. Планируется опубликование статей, а так же дальнейшее патентное исследование.

На основе научных результатов проекта будет создана технология плазменного напыления композитного покрытия, позволяющая повысить ресурс формообразующего инструмента. Напыленный слой обеспечивает повышение коэффициента использования деформируемого материала за счет перераспределения тангенциальных и касательных напряжений в заготовке. Получение зависимости характерных настроек плазмотрона, конфигурации смесителя, состава композитной смеси на ресурс работы формообразующего инструмента.

## **Выводы**

Таким образом, в ходе работы установлено:

- На энтальпию плазменного потока влияет расход плазмообразующего газа: с его повышением, понижается площадь поверхности вследствие уменьшения диаметра проводящего столба.

- Разработаны режимы напыления и составы напыляемых материалов.
- На скорость напыления влияет дисперсность смеси.
- Напыление высоко износостойких покрытий на рабочую поверхность – экономически выгодный, а так же один из наиболее эффективных методов повышения конструкционной прочности штамповой оснастки и инструмента, более чем в 1,5 раза.
- На пористость полученной поверхности влияет дистанция напыления а так же материал подложки.
- Установлен факт невозможности эффективного напыления на данном оборудовании порошков дисперсностью менее 10 мкм.

### Литература

1. *Кудинов В.В.* Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. - М.: Машиностроение, 1993. – 488 с.
2. *Лясников В.Н.* Проектирование электроплазменных технологий и автоматизированного оборудования / В.М. Таран, С.М Лисовский, А.В. Лясникова - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 206 с.
3. *Панталеенко Ф.И., Любецкий С.Н.* Материалы, технология и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. Ч.1 Наплавка и напыление. - Новополюцк, 1994. – 116 с.
4. *Бородин И.П.* Материалы 11 международной научно-практической конференции «Ресурсо-сберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин» – СПб 2009. – 252с.  
Публикации автора по теме работы:
5. *Круглов П.Ю.* XV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых Современные техника и технологии СТТ'2009 «Исследование свойств и методов упрочнения материалов для инструментов ОМД».
6. *Круглов П.Ю.* Всероссийский молодежный выставка-конкурс прикладных исследований, изобретений и инноваций «Методы упрочнения штамповой оснастки методом плазменного напыления» - С.163.
7. *Круглов П.Ю.* 12-ая школа-семинар – Актуальные проблемы физической и функциональной электроники, аккредитована Фондом содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе У.М.Н.И.К. «Методы повышения стойкости и производительности штамповой оснастки» - С.49-50.