

Результаты лабораторных исследований по совершенствованию режимов газотермического напыления

С.Н. Жильцов, к.т.н., Н.П. Крючин, д.т.н., профессор, Е.И. Артамонов, к.т.н., Д.С. Сазонов, к.т.н., ФГБОУ ВО Самарская ГСХА

Для устранения износов деталей машин и восстановления посадок соединений достаточно широко применяются различные способы газотермического напыления (металлизации). При металлизации расплавленный металл распыляется сжатым воздухом или инертным газом и наносится на какую-либо поверхность. Металл расплавляется за счёт тепла, выделяемого электрической дугой, при сгорании газа, под воздействием токов высокой частоты, плазмы и др. При достижении поверхности частицы металла, ударяясь и деформируясь,

взаимодействуют как с поверхностью основы, так и друг с другом.

Установлено, что при металлизации формирования напылённого слоя на поверхности происходит за счёт механического взаимодействия расплавленных частиц и основы, и в данном случае важнейшим показателем качества покрытия является адгезия.

На сцепление напыляемого слоя с основой оказывают влияние значительное количество факторов: способ и качество обработки основы под напыление, температура частиц и напыляемой поверхности, расстояние от сопла до поверхности, скорость напыляемых частиц в момент взаимодействия с поверхностью, состав напыляемых материалов.

В процессе распыления (при движении от сопла распылителя к поверхности) частицы жидкого металла взаимодействуют с окружающей средой, что приводит к потере определённого количества тепла и изменению пластических свойств расплавленных частиц, что в свою очередь сказывается на прочности сцепления с основой.

Известно, что на конечную температуру частиц, при прочих одинаковых условиях, значительное влияние оказывают режимы металлизации, к которым относят напряжение, силу тока, расход плазмообразующего газа, расстояние от сопла до напыляемой поверхности. На практике при использовании металлизации настройка данных режимов на оборудовании производится по конкретным значениям, установленным нормативно-технической документацией, а такой параметр, как расстояние от сопла до поверхности, устанавливается на основе рекомендованных пределов, которые могут отличаться друг от друга на величину до 25%. Начальную температуру напыляемой поверхности не контролируют совсем. Однако от этих характеристик зависит конечная температура напыляемых частиц и поверхности в момент их взаимодействия, что в свою очередь влияет на прочность сцепления напылённого слоя с основой.

В настоящее время проведено достаточно много исследований [1–5] по оценке влияния тех или иных факторов на адгезию и качество получаемых покрытий и совершенствованию процессов газотермического нанесения. Однако сложная взаимосвязь факторов, возникающая в процессе получения покрытий плазменной металлизацией, оставляет актуальным проведение исследований, направленных на совершенствование данного процесса, в частности, это относится и к изучению влияния таких параметров, как начальная температура основы и расстояние от сопла распылителя до поверхности.

Материалы и методы исследования. Основной характеристикой для оценки качества покрытия, полученного газотермическим нанесением, является адгезия.

Для определения адгезионной прочности покрытий применяют метод цилиндрических

или конусных штифтов [6]. Для лабораторных исследований были изготовлены специальные образцы с цилиндрическими штифтами $\varnothing 6$ мм (рис. 1).

Штифт помещают в отверстие матрицы, после чего они совместно подвергаются дробеструйной обработке, а затем одновременно на торец штифта и поверхность матрицы наносят покрытие. Для оценки прочности сцепления покрытия с основой использовалась универсальная разрывная машина УММ-5, предназначенная для статических испытаний материалов (рис. 2).

Напыление осуществлялось установкой для плазменной металлизации УПУ-8М с плазматроном модели УШР-2. В качестве плазмообразующего газа использовалась смесь технического аргона и водорода. При металлизации использовалась смесь порошка марки ФБХ-6-2 и композиционного порошкового сплава на основе интерметаллида NiAl (75% никеля, 23% алюминия, 2% карбид вольфрама). Концентрация порошков в пропорции 1:1. Гранулометрический состав смеси порошков контролировался ситовым методом. Грануляция частиц составила 60–100 мкм.

Для процесса металлизации использовались следующие режимы: сила тока – 400 А, напряжение – 55 В, расход порошка 8–10 см³/мин.

С целью определения влияния начальной температуры поверхности основы и расстояния от сопла плазматрона до поверхности на адгезию получаемых покрытий производился предварительный подогрев основы и изменялось расстояние. Температура предварительного подогрева изменялась в интервале от 50 до 200°C, с шагом в 50°C. Для каждого значения температуры поверхности напыление проводилось при таких значениях расстояния от сопла плазматрона до поверхности, как 100, 150 и 200 мм.

Для уменьшения влияния на ошибку эксперимента напыление проводилось для каждого значения температуры поверхности и расстояния в трёхкратной повторности.

Предварительный подогрев поверхности перед напылением осуществлялся плазменной струёй с расстояния 100 мм, температура контролировалась

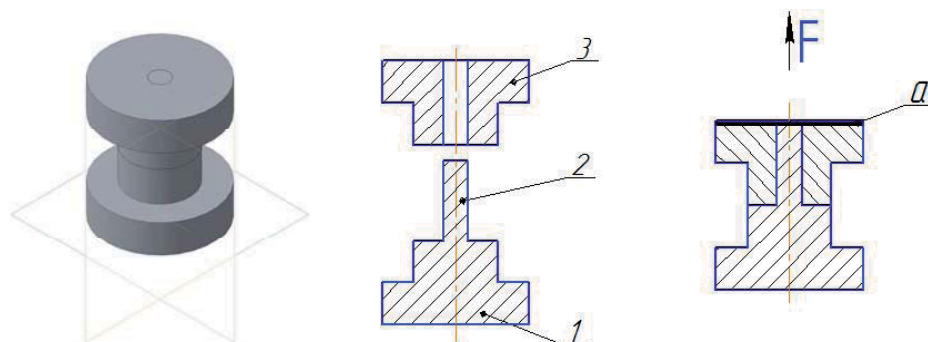


Рис. 1 – Схема образцов для лабораторных исследований:
1 – основание; 2 – штифт; 3 – матрица; а – напылённый слой



Рис. 2 – Исследуемые образцы

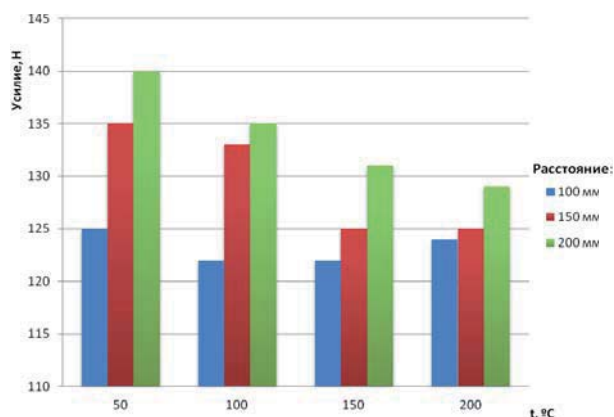


Рис. 3 – Усилие отрыва штифта от напылённого слоя в зависимости от начальной температуры поверхности и расстояния до сопла распылителя

инфракрасным пирометром IR Video Thermometer CEM DT-9862.

Результаты исследования. Для определения прочности сцепления покрытий с основой применялся метод штифтов [6]. Данные, полученные в результате эксперимента, представлены в таблице.

Данные, полученные в ходе эксперимента, обрабатывались с применением программ Microsoft Excel и Statistica v.10.0.

Анализ экспериментальных данных показывает наличие определённой зависимости усилия отрыва штифта как от расстояния между соплом плазматрона и напыляемой поверхности, так и начальной температуры поверхности (рис. 3).

По графикам видно, что увеличение расстояния от сопла плазматрона до поверхности способствует увеличению усилия отрыва. При этом стоит отметить, что данная зависимость прослеживается во всех исследуемых температурных диапазонах. Если же рассматривать влияние начальной температуры поверхности на усилие отрыва, то видно, что зависимость имеет обратный характер: чем выше температура, тем меньше усилие отрыва.

Необходимо отметить, что разница в значениях усилия, необходимого для отрыва штифта от напылённой поверхности, при разном расстоянии от сопла плазматрона до напыляемой поверхности

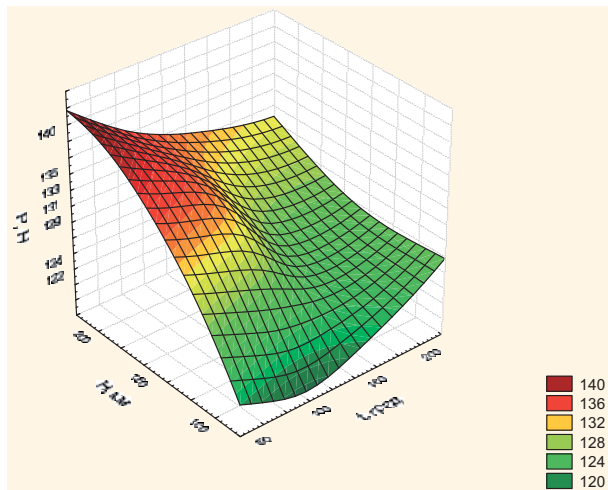


Рис. 4 – Зависимости усилия отрыва штифта (Р, Н) от начальной температуры напыляемой основы (t, °C) и расстояния до сопла распылителя (H, мм)

Результаты оценки прочности сцепления покрытия с основой на разрывной машине

Начальная температура поверхности, °C	Усилие отрыва Р, Н		
	расстояние от сопла до поверхности h, мм		
	100	150	200
50	125	135	140
100	122	133	135
150	122	125	131
200	124	125	129

с увеличением начальной температуры основы становится меньше. Таким образом, в заданных интервалах уменьшается влияние расстояния от плазматрона до напыляемой поверхности по мере увеличения её температуры.

Для оценки комплексного воздействия данных факторов на прочность сцепления получена зависимость (1). Выражение (1) отражает взаимосвязь усилия отрыва (Р, Н), начальной температуры основы (t, °C) и расстояния от сопла плазматрона до поверхности (H, мм):

$$P = 102,6 - 0,033 \cdot t + 0,0003 \cdot t^2 + 0,31 \cdot H - 0,0004 \cdot H^2 - 0,0007 \cdot t \cdot H \quad (1)$$

В графическом виде данное выражения представлено на рисунке 4.

Результаты, полученные в ходе лабораторных исследований, позволяют сделать следующие **выводы:**

— усилие отрыва штифта в опытных образцах, а соответственно и прочность сцепления покрытия с основой растёт с увеличением расстояния от сопла плазматрона до напыляемой поверхности. При этом с увеличением начальной температуры основы (поверхности образцов) усилие отрыва, наоборот, снижается;

— обработка результатов лабораторных исследований позволила установить, что для данных

параметров напыления наибольшая прочность сцепления напылённого слоя с основой будет возникать при начальной температуре поверхности в интервале 40–60°C и расстояния от сопла плазматрона до поверхности 180–200 мм;

— используя значение данных параметров (начальная температура и расстояния от плазматрона до детали) в указанных пределах, обеспечивающих максимальное усилие отрыва, возможно повысить величину адгезии напылённого слоя на 8–12%.

Результаты исследования можно использовать при совершенствовании существующих технологических процессов восстановления изношенных деталей с помощью плазменной металлизации.

Литература

1. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 360 с.
2. Газотермическое напыление / под ред. Л.Х. Балдаева. М.: Маркет ДС, 2007. 344 с.
3. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Голубев И.Г. Организация и технологии восстановления деталей машин: научн. издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 568 с.
4. Лялякин В.П. Физико-механические свойства покрытий, полученных электродуговой металлизацией порошковыми проволоками / В.П. Лялякин, В.П. Мурзаев, Д.Б. Слинько [и др.] // Технология машиностроения. 2017. № 5. С. 24–28.
5. Баннов А.А., Жильцов С.Н. Влияние режимов металлизации на качество получаемых покрытий // Аграрная наука в условиях инновационного развития АПК. Кинель, 2015. С. 81–84.
6. Лунёв В.М., Немашкало О.В. Адгезионные характеристики покрытий и методы их измерения // Журнал физики и инженерии поверхности. 2010. № 1. С. 64–70.