

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ДЕФОРМАЦИОННОГО ПЛАКИРОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Шелег В.К.<sup>1</sup>, Белоцерковский М.А.<sup>2</sup>, Копылова Е.Ф.<sup>1</sup>, Леванцевич М.А.<sup>2</sup>

1) Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь,

2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь

**Введение.** Из большого количества способов формирования защитных пленок и покрытий в последние годы все большее внимание специалистов привлекает достаточно простой в реализации, мало энергоемкий и экономичный метод формирования покрытий деформационным плакированием с помощью гибкого инструмента – вращающейся щетки с проволочным ворсом [1]. Вращающаяся щетка взаимодействует одновременно с поверхностью обрабатываемой детали и стержнем, выполненным из материала-донора. При реализации процесса материал-донор прижимается к быстровращающейся проволочной щетке, далее к щетке подводится плакируемая деталь, и между ними создается натяг за счет вдавливания ворса на глубину, зависящую от конструктивных параметров щетки и режимов обработки. Ударно-скользящее воздействие ворса на деталь приводит к совместной пластической деформации материалов основы и донора, что способствует их прочному соединению.

Учитывая простоту и эффективность метода деформационного плакирования, было предложено его использовать в качестве способа предварительной обработки деталей и нанесения промежуточных адгезионных слоев, а также для обработки нанесенных покрытий с целью закрытия поверхностных пор. Таким образом, целью выполненных исследований явилась оценка возможности применения деформационного плакирования в процессах газотермического напыления металлических покрытий.

**Методика проведения исследований.** Для газотермического нанесения металлических покрытий использовали следующие установки: активированного газопламенного напыления проволоки (установка ТЕРКО), электродуговой металлизации (установка ЭМ-14), гиперзвуковой металлизации (установка АДМ-10). Процесс деформационного плакирования осуществляли на экспериментальной установке конструкции ОИМ НАН Беларуси, оснащенной стальными щетками диаметром 180...200 мм, шириной – 20 мм, с толщиной и вылетом ворса – соответственно 0,25 и 30 мм. Покрытия наносили на поверхность образцов из стальных пластин 50x50x3 мм, а также на торец конусных штифтов, используемых в приспособлении для оценки прочности сцепления «на отрыв» нормально приложенной нагрузкой. Материал покрытий – проволочные стали 95Х18 и 30Х20НМ.

На первом этапе исследований деформационное плакирование использовали для подготовки поверхности напыляемой детали и нанесения промежуточного слоя. На втором этапе изучалась возможность использования деформационного плакирования для уплотнения поверхностного слоя газотермического покрытия и повышения его антикоррозионных свойств.

### Результаты экспериментов и их обсуждение.

Стальной щеткой осуществляли предварительную подготовку поверхности, а затем срезание и перенос частиц материала с элемента-донора на поверхность детали. В качестве материала промежуточного слоя (материала - донора) был выбран самофлюсующийся сплав на основе меди марки ПР-ОНСР. Этот выбор был обусловлен низкой температурой плавления сплава (около 700°C) и его высокой пластичностью. Ожидалось, что расплавленные частицы стальной проволоки, попадая на тонкий слой самофлюсующегося сплава, будут подплавлять его и образовывать очаги микросварки, что способствует повышению прочности сцепления формируемого стального покрытия с основой.

Процесс деформационного плакирования осуществлялся на следующих режимах: число оборотов детали - 170 об/мин; скорость скольжения ворса щетки относительно детали - 35...40 м/сек; частота вращения щетки 3000 об/мин; величина натяга (относительное сближение оси щетки с поверхностью детали) - 2 мм. После очистки поверхности, произведенной за 3 прохода щеткой, материал-донор, изготовленный в виде таблетки, прижимали к стальному ворсу с усилием 40 Н и выполняли 6 проходов по поверхности детали. Были нанесены слои толщиной 25 - 35 мкм. Прочность сцепления плакированных слоев с основным металлом составила более 40 МПа.

Основное покрытие наносили методом гиперзвуковой металлизации распылением проволоки из стали 95Х18 [2]. Исследование адгезии сформированных покрытий показало, что почти у половины образцов (около 40%) происходило отслоение газотермического покрытия от промежуточного слоя при удельных нагрузках отрыва от 10 до 23 МПа. У 25% образцов зарегистрирована достаточно высокая прочность сцепления, превышающая 45 МПа. Анализ полученных результатов показывает необходимость дальнейших исследований в направлении выбора материала донора. Очевидно, что необходим такой сплав, который бы образовывал твердые растворы и химические соединения с материалом напыляемого покрытия.

В ходе изучения процесса деформационного плакирования газотермических покрытий были выявлены значительные отличия получаемых результатов от тех, которые были ранее получены при плакировании монолитных поверхностей. Установлено, что при использовании материала-донора, близкого по составу и механическим характеристикам материалу газотермического покрытия, наружный слой с необходимыми параметрами (равномерность и плотность - 100%, толщина более 10 мкм) сформировать не удастся. Так, не удалось получить однородный слой толщиной более 2 - 4 мкм нанесением нержавеющей стали на напыленную сталь, а также нанесением латуни на напыленную бронзу.

Установлено, что основное влияние на качество наносимого деформационным плакированием слоя на газотермическом покрытии оказывает количество и размер поверхностных пор. Было предположено, что предел прочности на растяжение у материала наружного слоя должен быть меньше предела прочности напыленного металлического слоя, причем, чем выше пористость и диаметр поровых каналов, тем больше должна быть разница между механическими свойствами донора и напыленного слоя. При этом скорость полета частиц, формирующих слой, также может оказывать существенное влияние на механические характеристики выбираемого донора, но это влияние не носит характер прямой пропорциональной зависимости.

Учитывая вышесказанное, в качестве материала для нанесения наружного слоя методом деформационного плакирования была выбрана сталь аустенитного класса X18H9T, имеющая предел прочности на растяжение  $\sigma_p = 720$  МПа. Покрытия наносили методом гиперзвуковой металлизации на установке АДМ-10 распылением проволоки из стали 30X20HM, предел прочности на растяжение которой выше, чем у материала-донора ( $\sigma_p = 990$  МПа). Средняя поверхностная пористость напыленных покрытий составила 0,04. Средний диаметр поверхностных пор составил 8 мкм. Процесс деформационного плакирования осуществлялся на следующих режимах: скорость скольжения ворса щетки относительно образцов – 35...40 м/сек; частота вращения щетки 3000 об/мин; величина натяга (относительное сближение оси щетки с поверхностью образца) – 2 мм. Материал-донор, изготовленный из стали X18H9T в виде таблетки, прижимали к стальному ворсу с усилием 40 Н и выполняли 6 проходов по поверхности газотермического покрытия. Были нанесены наружные слои толщиной 35 – 40 мкм. Качество формирования наружного слоя контролировали визуальным осмотром при двадцатикратном увеличении. На поверхности не наблюдалось видимых трещин, отслоений, раковин, пор, пропущенных участков. Далее на поверхность наружного слоя были нанесены маркеры износа в виде отпечатков пирамиды на твердоморе Викерса.

Испытания, выполненные на специальном трибометре при возвратно-поступательном движении образцов по закаленной стали 9ХВГ в среде 15% раствора КОН, содержащего 12 – 15 об.% частиц оксида кремния размером  $\leq 50$  мкм, показали, что за 750 циклов на испытываемых поверхностях покрытий, прошедших деформационное плакирование, не образовалось никаких видимых дефектов. Интенсивность изнашивания, определенная замером диагональ отпечатков, составила, в среднем, 3 мкм/км. У образцов без обработки деформационным плакированием по окончании испытаний наблюдались локальные разрушения покрытий, а средняя интенсивность изнашивания составила более 10 мкм/км.

**Заключение.** Анализ результатов исследования показал, что при использовании метода деформационного плакирования для подготовки поверхности под напыление и нанесения промежуточного слоя необходимо в качестве донора выбирать материал, способный образовывать твердые растворы и химические соединения с материалом напыляемого покрытия.

Использование метода деформационного плакирования для финишной обработки напыленных покрытий позволяет повысить их износо- и коррозионную стойкость. При этом необходимо изготавливать донор из материала с пределом прочности на растяжение ниже, чем у напыляемого материала. Для получения численных зависимостей между прочностными показателями донора и покрытия требуется проведение дополнительных исследований.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Леванцевич, М.А. Повышение эксплуатационных свойств трибосопряжений нанесением покрытий металлическими щетками / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, В.Г. Зольников // Весті Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. - №1. – С. 67-72.
2. Белоцерковский, М.А. Технологические особенности и области использования гиперзвуковой металлизации / М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко // Инновации в машиностроении: сборник научн. трудов. (Минск, 30-31 октября 2008 г.) / Редкол.: М.С. Высоккий [и др.]. – Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2008. – С. 479 – 484.