

ПУТИ РАЗВИТИЯ МЕТОДА ГИПЕРЗВУКОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛИЗАЦИИ

М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ, А.В. СОСНОВСКИЙ, И.К. СИВИЦКИЙ
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Приведены результаты исследований процесса гиперзвуковой электрометаллизации, позволившие расширить области его рационального использования. Отмечено создание новой конструкции аппарата, способного распылять не только металлические проволоки, но и полимерные шнуры. Разработаны технологические приемы нанесения толстослойных металлических покрытий на полимеры, формирования стальных слоев на деталях из алюминия. Предложена технология формирования износостойких покрытий, содержащих до 70 об.% нитрида титана.

Одним из способов повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик покрытий, нанесенных методом традиционной металлизации, является повышение скорости полета частиц напыляемого материала за счет нагрева распыляющего газа непрерывным источником энергии, при этом максимальную скорость истечения газовой струи можно получить путем использования сверхзвукового сопла Лаваля. Были созданы установки активированной электродуговой металлизации, которые позволяли достичь сверхзвуковых скоростей движения распыляющего потока. Впоследствии разработанная малогабаритная камера сгорания пропано-воздушной смеси оригинальной конструкции позволила создать ручной аппарат с более высокими динамическими параметрами распыляющего потока (скорость 1500 м/с), что и обусловило название процесса – «гиперзвуковая металлизация» (ГМ).

Сравнение технико-экономических параметров показывает, что себестоимость технологии ГМ более чем в 10 раз меньше себестоимости процессов высокоскоростного газопламенного напыления, а свойства наносимых покрытий соответствуют требованиям большинства ремонтных производств.

Модернизация оборудования ГМ. До недавнего времени основной моделью, реализующей процесс ГМ, являлась установка АДМ-10, оснащенная ручным металлизатором. С учетом опыта эксплуатации в условиях ремонтных служб организаций морского, железнодорожного и автомобильного транспорта, предприятий машиностроения, станкостроения, химической и перерабатывающей отраслей промышленности, были намечены основные пути совершенствования оборудования ГМ и, в частности, распылительной головки металлизатора. Было предложено распыляемый поток, состоящий, из продуктов сгорания пропано-воздушной смеси дополнительно обдувать спутным потоком сжатого воздуха под давлением, равным давлению в камере сгорания и направленным в сторону распыления расплава под углом к распыляемому потоку.

Установлено, что значения шероховатости поверхности покрытий Ra при использовании обдувающего потока снизились с 0,16 – 0,18 до 0,04 – 0,06, а пористость снизилась с 2,3% до 0,7%.

Следующим усовершенствованием распылительной головки явилась модернизация камеры сгорания и сопла с целью обеспечения возможности использования металлатора для распыления полимерных шнуров. В результате проведенных исследований было спроектировано и изготовлено универсальное оборудование гиперзвуковой металлизации ГМ-4, позволяющее осуществлять напыление покрытия высокоскоростным распылением, как металлических проволок, так и полимерных шнуров. В качестве распыляемых шнуров можно использовать любой термопластичный полимер с температурой плавления до 3000 °С.

Нанесение металлических покрытий на полимеры. Авторами данной работы была поставлена цель теоретически обосновать возможность нанесения покрытий на полимеры методом ГМ и исследовать физико-механические характеристики формируемых покрытий.

Исследование прочности сцепления металлических покрытий, напыленных на образцы из термопластичных полимеров показали, что отсутствует какая-либо строгая зависимость между температурой плавления наносимого металла и величиной адгезии. Наибольшую адгезию имели никелевые покрытия (более 6 МПа), а наименьшую – стальные (менее 2 МПа). Предложено использовать никель для нанесения промежуточного слоя при напылении покрытий на полимеры из других металлов и сплавов. С целью разработки технологии получения сверхлегких деталей для фрикционных сопряжений были выполнены исследования по нанесению на термопластики алюминиевых покрытий, которые предназначались для последующего микродугового оксидирования. Для определения необходимого состава газовой смеси распыляющего факела при ГМ были проведены исследования, позволившие оценить зависимость толщины и времени оксидирования покрытий от количества в них оксидов после напыления и соотношения газов в пропано-воздушной смеси. Установлено, что наилучшие результаты (максимальная толщина покрытий при минимальном количестве оксидов) обеспечиваются при соотношении воздуха и пропана в смеси, формирующей факел, от 15:1 до 18:1.

Нанесение стальных покрытий на алюминий и его сплавы. Недостаточная надежность и технологичность имеющихся способов упрочнения алюминиевых деталей, работающих в условиях высоких контактных нагрузок и абразивного изнашивания, требует разработки оригинальных технологий упрочнения алюминиевых сплавов. Эти технологии должны удовлетворять следующим требованиям: нагрев детали не выше 170 °С; обеспечение непосредственного контакта "алюминиевая поверхность – покрытие" без промежуточной оксидной пленки; обеспечение когезионной прочности самого слоя и его износостойкости.

Разработан способ газотермического нанесения износостойкого покрытия на поверхность детали из алюминия и его сплава, включающий распыление материала промежуточного слоя методом гиперзвуковой металлизации, причем материал промежуточного слоя выбирают с температурой плавления более 2100 °С, а режимы распыления

должны обеспечивать определенный размер частиц D , мкм, удовлетворяющий следующему соотношению: $D \geq A \cdot e^{-BT}$, где A – коэффициент, численно равный 1387; B – коэффициент, численно равный $1,4 \cdot 10^{-3}$; T – температура плавления материала промежуточного слоя, °С.

Изучение микроструктуры полученных покрытий показало, что между алюминиевой основой и промежуточным слоем нет трещин и расслоений, стальное покрытие имеет высокую плотность.

Формирование покрытий, содержащих нитрид титана. Установлено, что в процессе гиперзвуковой металлизации протекает активное взаимодействие расплавленных капель металлов с ионизированными атомами азота из воздуха. Разработан способ, позволяющий получать покрытия с содержанием нитрида титана до 70 об.%.

Выводы. На основании результатов проведенных исследований изготовлено универсальное оборудование гиперзвуковой металлизации ГМ-4, позволяющее осуществлять напыление покрытия высокоскоростным распылением, как металлических проволок, так и полимерных шнуров.

Метод ГМ использован при разработке технологии формирования металлических покрытий на поверхности полимерных деталей, при этом показана целесообразность использования никеля в качестве материала подслоя.

Разработана технология газотермического нанесения стальных износостойких покрытий на поверхность деталей из алюминия и его сплавов.

Предложен способ нанесения покрытий повышенной износостойкости, включающий распыление проволоки из титанового сплава, что позволяет получать покрытия с содержанием нитрида титана до 70 об.%.