# МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА, НАНЕСЁННОГО ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫМ МЕТОДОМ, И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗАЛЬТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

# В. И. Яковлев, И. В. Назаров, Е. Г. Шипулина, А. В. Назарова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

На сегодняшний день в состав большого количества порошковых смесей для нанесения покрытий входят оксиды, получаемые и вводимые в смесь отдельно друг от друга. Однако в природе встречаются соединения этих оксидов на атомарном уровне. Целесообразно, прежде всего, использовать минеральное сырье, которое является широко распространенным и имеет относительно невысокую себестоимость. Из минерального сырья можно выделить базальт, который обладает рядом неоспоримых преимуществ перед другими материалами [1].

Перспективным является получение защитных покрытий на основе базальтового порошка (как в чистом виде, так и в составе композита). У базальтовых покрытий возможна широкая область использования: коррозионностойкие покрытия (инертны в кислотных и щелочных средах, морской воде, химически стойкие), жаростойкие, износостойкие покрытия и другие области использования, например, защитно-маскировочные покрытия в спектральном диапазоне инфракрасного излучения [2].

В Алтайском государственном техническом университете в лаборатории ПНИЛ СВСматериаловедения были получены образцы с базальтовым покрытием различной толщины.

Для получения покрытия использовалась установка детонационного напыления «Катунь-М» (рисунок 1). Напыление проводилось базальтовым порошком гранулометрических составов >63 мкм, 63 – 100 мкм, 100 – 200 мкм на плоские образцы представляющие собой стальную пластину (60 x 40 x 2 мм) стали марки СтЗ.

Процесс формирования базальтового покрытия представляет собой подачу в ствол установки взрывчатой смеси, состоящей из пропан-бутана и кислорода. Одновременно с этим транспортирующим сжатым воздухом в канал ствола подавался базальтовый порошок из игольчатого дозатора. Газопорошковая смесь поджигалась искрой свечи воспламенителя, возникающие при этом тепловые волны порождают ударные, а затем и детонационную волну. Базальтовый порошок в стволе разгонялся продуктами детонации и наносился на поверхность напыляемой стальной пластины (подложку). Процесс повторялся до тех пор, пока не формировалось базальтовое покрытие необходимой толщины. Схема процесса детонационно-газового напыления представлена на рисунке 2 [3].

Для исследования структуры покрытия был выполнен разрез поперечного сечения плоского образца на высокоскоростном автоматическом прецизионном отрезном станке MICRACUT-201 (рисунок 3). В процессе отрезания деформации основного металла и покрытия не произошло. Затем на металлографическом пресс для горячего прессования METAPRESS-P (рисунок 3) образец был запрессован в полимер. После чего на установки DIGIPREP-250 (рисунок 3) предназначенной для подготовки материалографических и металлографических образцов был получен микрошлиф образца с базальтовым покрытием.

Исследование образцов проводилось на микроскопе инвертированном для работы в отраженном свете CARL ZEISS AXIO OBSERVER Z1M (рисунок 3).

В процессе исследования структуры было выявлено то, что базальтовое покрытие является плотным без отслоений, что означает хорошее сцепление покрытия с основой, многослойным и без видимых пор и трещин (рисунок 4).

Была проведена работа по исследованию поглотительной способности базальтовым покрытие инфракрасного излучения в диапазоне длин волн 1,8 – 14 мкм (это коротковолновая и средневолновая область инфракрасного излучения) в зависимости от толщины покрытия, интенсивности инфракрасного излучения и гранулометрического состава исходного порошка. Для этого был создан экспериментальный стенд (рисунок 5) и использовался тепловизор FLIR серии SC-Series (рисунок 6).



Рисунок 1 – Установка детонационно-газового напыления «Катунь-М»



Рисунок 2 – Схема процесса детонационно-газового напыления на установке «Катунь-М»



Рисунок 3 – Оборудование, на котором проводилась пробоподготовка и исследование структуры образцов с базальтовым покрытием

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА, НАНЕСЁННОГО ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫМ МЕТОДОМ, И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗАЛЬТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ



Рисунок 4 – Структура базальтового покрытия нанесённого детонационно-газовым методом



Рисунок 5 – Стенд для исследования поглощения инфракрасного излучения базальтовым покрытием



### Рисунок 6 – Тепловизор

Стенд представляет собой металлический каркас, обшитый теплоизоляционным материалом, внутри стенда установлен штатив держатель для образцов, сверху выведен воздуховод для помещения туда объектива тепловизора, снизу на дополнительном металлическом каркасе установлена тепловая инфракрасная лампа с регулируемой мощностью излучения (максимальная мощность 500 Вт).

Тепловизоры FLIR серии SC-Series используются для определения распределения и изменения температуры в реальном времени, позволяя увидеть и точно замерить тепловое поле, рассеивание и иные температурные аспекты оборудования, продуктов и процессов. Специальное программное обеспечение позволяет провести расчёт тепловых полей термограмм полученных на тепловизоре и определить интенсивность поглощения инфракрасного излучения объектом исследования.

С помощью экспериментального стенда и тепловизора были получены термограммы 12 образцов с разной толщиной базальтового покрытия и разного гранулометрического состава исходного порошка. Образцы были специально подготовлены. С одной стороны на покрытие был нанесён бакелитовый лак, а с другой стороны установлен отражатель.

Температура любого тела состоит из собственной температуры и отражённой. Для определения интенсивности поглощения инфракрасного излучения необходимо определить собственную температуру образцов. Поэтому проводилась такая подготовка образцов. При настройке тепловизора с помощью отражателя на образце удалось произвести отсечку отражённой температуры (она составила 26,5 °С для всех образцов) и термограммы для расчёта тепловых полей получились с собственной температурой. Затем на термограмме с помощью подборки коэффициентов можно определить интенсивность излучения базальтового покрытия сравнивая интенсивность излучения собственной температуры покрытия и интенсивности излучения собственной температуры известного табличного значения бакелитового лака. Определив интенсивность излучения, можно определить интенсивность поглощения по закону Кирхгофа: «Тело которое много излучает много и поглощает», т.е. интенсивность излучения равна интенсивности поглощения: Еи= Ео.

При съёмке термограмм тепловизором в штатив на стенде устанавливалось по 3 образца. В таблицах приведены значения собственной температуры, отражённой температуры и коэффициента поглощения инфракрасного излучения.

Слева на термограмме № 1 находится образец № 1 (рисунок 7), представляющий собой металлическую пластину марки Ст3 без покрытия. Точка Sp1 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Ко-эффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка Sp2 расположена на произвольном чистом участке пластины. Коэффициент поглощения составляет 0,54. Коэффициент Ст3 тоже известен и табличное значение его составляет 0,56.

Таким образом, было получено значение очень близкое к табличному, следовательно, показания термограмм являются достаточно достоверными.

## МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА, НАНЕСЁННОГО ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫМ МЕТОДОМ, И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗАЛЬТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ



Рисунок 7 – Термограмма № 1



Рисунок 9 – Термограмма № 3

Посередине на термограмме № 1 находится образец № 2 (рисунок 7) представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 500 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 63 – 100 мкм. Точка Sp3 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp4 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,99, что превышает степень поглощения инфракрасного излучения бакелитового лака.

Коэффициент равный 1 это абсолютная недостижимая величина, при которой у тела полностью отсутствует отражение.

Справа находится образец № 3 представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 300 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 63 – 100 мкм. Точка Sp5 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97,



Рисунок 8 – Термограмма № 2



Рисунок 10 – Термограмма № 4

точка. Точка Sp6 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,98.

Рассмотрим термограмму № 2, на которой представлены 3 образца. Так как это новая термограмма, то отсчёт тепловых точек начнём сначала.

Слева на термограмме № 2 находится образец № 4 представляющий собой стальную пластину марки СтЗ с базальтовым покрытием толщиной 800 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 63 – 100 мкм. Точка Sp1 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp2 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,99.

Посередине на термограмме № 2 находится образец № 5 представляющий собой стальную пластину марки СтЗ с базальтовым покрытием толщиной от 50 мкм до 100 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 63 – 100 мкм. Точка Sp3 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp4 расположена на участке с покрытием толщиной 100 мкм и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,95, так же был измерен коэффициент поглощения на участке покрытия с толщиной 50 мкм (не указано на рисунке), он составляет 0,94. На примере образца № 5 видно, что при уменьшении толщины покрытия коэффициент поглощения ик излучения уменьшается, так же этот коэффициент зависит от некоторых механических свойств, например пористости, а так же от наличия дефектов в покрытии.

Справа на термограмме № 2 находится образец № 6 представляющий собой стальную пластину марки СтЗ с базальтовым покрытием толщиной 50 – 70 мкм, гранулометрического состава исходного порошка >63 мкм. Точка Sp5 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp6 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,96.

Рассмотрим термограмму № 3, на которой представлены 3 образца. Так как это новая термограмма, то отсчёт тепловых точек начнём сначала.

Слева на термограмме № 3 находится образец № 7 представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 500 мкм, гранулометрического состава исходного порошка >63 мкм. Точка Sp1 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp2 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,99.

Посередине на термограмме № 3 находится образец № 8 представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 800 мкм, гранулометрического состава исходного порошка >63 мкм. Точка Sp3 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp4 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,99.

Справа на термограмме № 3 находится образец № 9 представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 100 – 200 мкм, грануло-

метрического состава исходного порошка 100 – 200 мкм. Точка Sp5 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp6 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,97.

Рассмотрим термограмму № 4, на которой представлены 3 образца. Так как это новая термограмма, то отсчёт тепловых точек начнём сначала.

Слева на термограмме № 4 находится образец № 10 представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 300 – 500 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 100 – 200 мкм. Точка Sp1 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp2 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,98.

Посередине на термограмме № 4 находится образец № 11 представляющий собой стальную пластину марки СтЗ с базальтовым покрытием толщиной 500 – 700 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 100 – 200 мкм. Точка Sp3 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp4 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,98.

Справа на термограмме № 4 находится образец № 12 представляющий собой стальную пластину марки Ст3 с базальтовым покрытием толщиной 1000 – 1500 мкм, гранулометрического состава исходного порошка 63 – 100 мкм. Точка Sp5 расположена на участке образца с бакелитовым лаком. Коэффициент поглощения бакелитового лака известен и составляет 0,97, точка. Точка Sp6 расположена на участке с покрытием и коэффициент поглощения инфракрасного излучения составляет 0,97.

#### Выводы:

По результатам исследования был определён коэффициент поглощения инфракрасного излучения базальтовым покрытием, нанесённым детонационно-газовым методом. Он составил 0,94 – 0,99 это очень высокий коэффициент (1 – Абсолютное поглощение) относящийся к 5 классу (самому высокому) материалов обладающих свойством погло-

# МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА, НАНЕСЁННОГО ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫМ МЕТОДОМ,

И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗАЛЬТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

щения инфракрасного излучения. Отражение базальтом инфракрасного излучения составляет 1 – 6 %.

Была обнаружена зависимость коэффициента поглощения от толщины покрытия, чем больше толщина, тем больше коэффициент поглощения. Зависимость влияния интенсивности излучения и гранулометрического состава исходного порошка на коэффициент поглощения инфракрасного излучения не прослеживается. Гранулометрический состав исходного порошка оказывает влияние на формирование покрытия.

#### Список литературы:

1. Джигирис, Д.Д. Основы производства базальтовых волокон и изделий [Текст] / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.

2. Земцов, А. Н. Базальтовая вата: история и современность [Текст]/ А. Н. Земцов, С. И. Огарышев – Пермь 2003.- 124с.

3. Разработка и внедрение технологии ДГН для восстановления коренных вкладышей блоков дизелей А-01, А-41 [Текст]: Отчет о НИР / АНИТИМ; Руководитель К.М. Зеров. -№ к/д 123/83. – Барнаул, 1986. – 31 с.