

нар по сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ-2). Краткие сообщения. / Минск: ЗАО “Деловая инициатива”, 1997. — 87 с., ил.

3. Лещик, С.Д. Исследование частиц, генерированных лазерной абляцией твердых тел в жидкости / С.Д. Лещик, К.Ф. Зноско, Ю.К. Калугин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 6-10.

УДК 621.793

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИФФУЗИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО ПОРОШКА ПР-Х18Н9.**

*Пантелеенко А.Ф.*

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

В последнее время широкое распространение получил новый класс материалов для создания покрытий – диффузионно-легированные порошки [1], отличительной особенностью которых является самофлюсуемость. Данные материалы активно применяются для напыления и наплавки покрытий, тем не менее, проблема поведения частиц порошка в процессе нанесения покрытий (в нашем случае плазменном напылении) малоизучена и требует большего внимания, так как от этого зависят механические и эксплуатационные характеристики изделия. При этом следует отметить, что ранее диффузионно-легированный порошок ПР-Х18Н9 для напыления не использовался. Применение его в качестве напыляемого материала является перспективным.

Диффузионно-легированные частицы порошка ПР-Х18Н9 являются композиционным микрообъектом. После диффузионного легирования на поверхности частиц образуются несколько слоев, которые существенно изменяют поведение частицы в плазменной струе по сравнению с необработанным ПР-Х18Н9. Это объясняется большими отличиями в теплофизических параметрах слоев. Следует также отметить, что боридная диффузионная оболочка выступает в роли «теплового барьера», который существенно замедляет скорость нагрева частицы.

Типичная микроструктура легированного порошка представлена на рисунке 1. Поскольку поведение такой композиционной частицы ранее не исследовалось, необходимо было более подробно описать поведение частицы в плазменной струе:

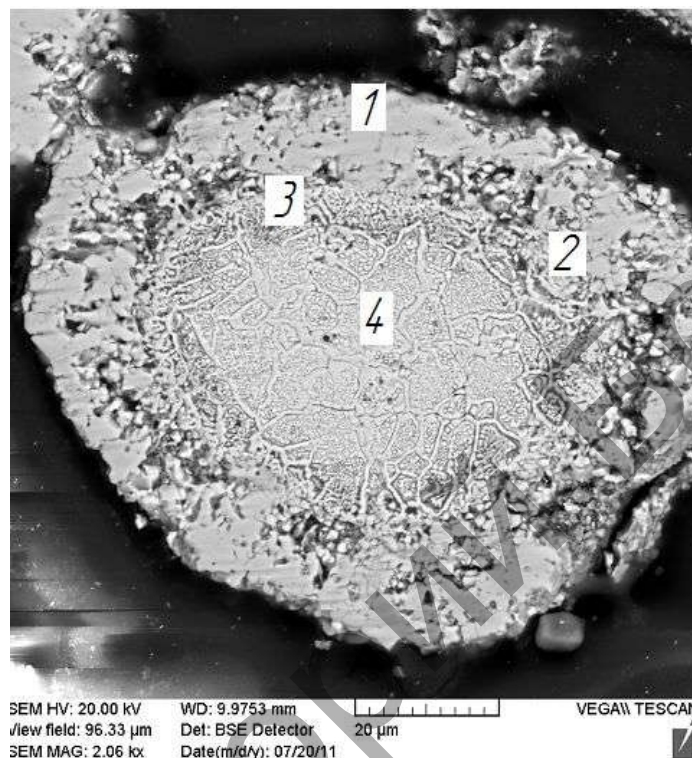
1. Интервал температур 1200...1250<sup>0</sup> С: при достижении данной температуры легкоплавкая эвтектика (3) на границе зон «Fe<sub>2</sub>B - основа» начинает плавиться ( $t_{пл} = 1200^0$  С [2]) и через некоторый временной промежуток полностью расплавляется. Остальные зоны (рисунок.1) остаются в твердом состоянии.

2. Интервал температур 1400...1450<sup>0</sup> С: при достижении данной температуры происходит плавление сердцевинки (4) ( $t_{пл} = 1400^0$  С [2]), зоны Fe<sub>2</sub>B (2,  $t_{пл} = 1389^0$  С [2]). Внешняя боридная оболочка FeB (1) остается твердой.

3. Интервал температур 1700...1750<sup>0</sup> С: при достижении данной температуры активно происходят процессы плавления внешней боридной оболочки FeB

(1,  $t_{пл} = 1650^0 \text{ C}$  [2]). Полное расплавление частицы происходит при достижении температуры  $1700^0 \text{ C}$  на поверхности частицы и некоторого временного промежутка.

Следует отметить, что из-за различной теплопроводности материалов градиент температур по сечению частицы достаточно велик, но все 3 этапа происходят в указанной последовательности.



1- боридная оболочка из FeB; 2- боридная оболочка из Fe<sub>2</sub>B; 3 – легкоплавкая эвтектика; 4 – аустенитно-ферритная сердцевина

Рисунок 1 – Микроструктура диффузионно-легированной частицы ПР-Х18Н9 (параметры обработки: T=900<sup>0</sup> C, t = 3 часа).

Математическое моделирование проводилось на основе работ [3,4].

Динамика нагрева и охлаждения частиц определяется путем расчета их температурного поля и скорости при напылении.

Определение температурного поля проводилось по уравнению теплопроводности в сферических координатах.

$$\frac{\partial(\rho c T)}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda(T) r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

$\rho$  и  $c$  - плотность и теплоемкость частицы в точке расчета;

$T$  – температура,  $t$  – время;  $r$  – расстояние от центра частицы до точки расчета;

$\lambda$  – теплопроводность в точке расчета.

Для расчета скорости использовалось дифференциальное уравнение вида

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{3Av_g(V_g - V_p)}{4d_p^2\rho_p}$$

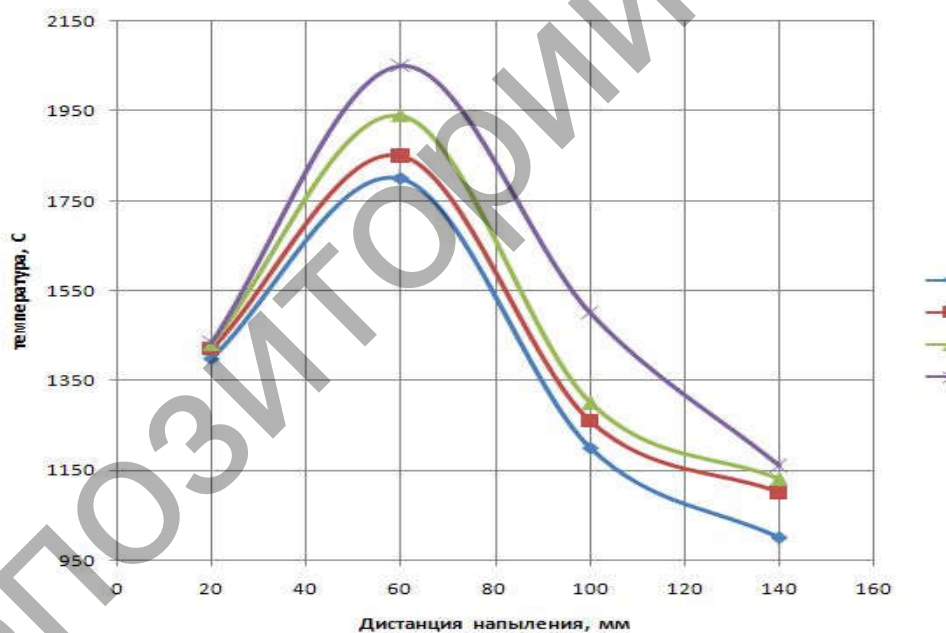
$A$  - коэффициент динамического сопротивления;

$v_g$  - динамическая вязкость газа;

$V_g$  и  $V_p$  - скорости газа и частицы соответственно;

$\rho_p$  - плотность частицы (рассчитывалась с учетом двухслойности).

Математическое моделирование процессов поведения борированных в течение разного времени частиц различной грануляции в плазменном потоке проводилось при следующих параметрах: плазмообразующий газ – азот; напряжение дуги - 350 В; сила тока - 70 А; расход плазмообразующего газа – 50 л/мин; диаметр сопла плазмотрона – 4 мм. Проведенные эксперименты показали, что именно указанные параметры обеспечивают получение оптимальных покрытий при минимальных энергозатратах. Для моделируемых процессов брался наиболее часто применяемый диапазон порошковых материалов 40-120 мкм. Результаты моделирования в виде зависимости температуры частиц от дистанции напыления представлены на рисунке 2.



1- легированная частица размером 50 мкм; 2- легированная частица размером 80 мкм; 3 – легированная частица размером 120 мкм; 4 – частица PP-X18N9

Рисунок 2 – Зависимость температуры частиц при плазменном напылении от дистанции

В результате математического моделирования было определено, что частицы размером более 80 мкм не успевают достаточно прогреться в плазменной струе, и не обеспечивается необходимое качество покрытия. Был также проведен ряд экспериментов по распылению легированных частиц плазменной струей в воду с дальнейшим исследованием микроструктуры и фазового состава

распыленного порошка. Полученные данные показывают, что даже частицы небольшого размера (40-50 мкм) не всегда успевают полностью расплавиться в различных зонах плазменной струи. Был отмечен лишь факт разрушения боридных оболочек при ударе о поверхность воды. Поэтому можно предположить необходимость использования для плазменного напыления легированного порошка ПР-Х18Н9 размером не более 80 мкм.

Все вышесказанное позволяет предположить необходимость последующей обработки высококонцентрированными потоками энергии для получения однородных по составу и свойствам покрытий.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Пантелеенко, Ф.И. СДЛП на железной основе и защитные покрытия из них/ Ф.И. Пантелеенко. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300с.
2. Самсонов, Г. В. Бориды./ Г.В. Самсонов, Т.И.Серебрякова, В.А.Неровнов. — Киев : Наук, думка, 1975.— 376 с.
3. Копьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий./ С.П.Кундас, А.П.Достанко, А.Ф.Ильющенко и др. – Мн.: Бестпринт, 1998. - 212 с.
4. Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугунной стружки: В.М.Константинов, Н.В.Спиридонов, О.Г.Девойно, А.М.Авсиевич и др. Под ред. Ф.И.Пантелеенко. – Мн.: Технопринт, 2005. – 146 с.

УДК 621.923.1

### **РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ЗАГОТОВКЕ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ С УЧЕТОМ ГИДРОДИНАМИКИ СОЖ**

*Федоров Д.Г., Пластинин А.А.*

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, Самара, Российская Федерация.

Шлифование является одним из самых широко распространенных методов финишной обработки деталей машин, в том числе ответственных деталей двигателей летательных аппаратов. Характерной особенностью обработки шлифованием является большое тепловыделение в узкой области вблизи зоны резания. Эта специфика обусловлена высоким влиянием процессов трения.

Исходя из вышесказанного, целью работы является создание методики расчета температурных полей в зоне резания при плоском шлифовании титановых заготовок.

Достижение поставленной цели обеспечивается на основе комплекса теоретико-экспериментальных исследований, включающих в себя разработку конечно-элементной модели расчета среднеконтактной температуры в зоне резания и оценку ее погрешности путем сопоставления результатов расчета с апробированной математической моделью.

В качестве расчетной программы для проведения виртуального расчета был выбран модуль CFX в программе ANSYS. Обычно этот модуль используется для расчета гидро- и газодинамических процессов протекающих в различных каналах и позволяет рассчитывать термодинамические процессы.