

## Секция 3 – Модифицирование поверхности и покрытия

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ НА СКОРОСТЬ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЧАСТИЦЫ НА ПОДЛОЖКЕ***М.П.ВАСИЛЬЕВА, Б.С.ЗЕНИН*

Томский политехнический университет

E-mail: [msmarianna@icloud.com](mailto:msmarianna@icloud.com)

В технологии газотермического напыления получаемое покрытие формируется последовательной укладкой расплавленных частиц и последующим их затвердеванием. В [1] показано, что для описания поведения отдельной частицы необходимо учитывать ударную деформацию и растекание частицы (гидродинамические условия), затвердевание и охлаждение образовавшегося сплета (температурные условия). В [2] рассмотрены особенности процесса кристаллизации в объеме напыленной частицы. В общем случае процесс затвердевания (кристаллизации) напыленной частицы можно рассматривать с двух позиций: скорость охлаждения материала в заданной координате или скорость охлаждения на разных расстояниях от контактной границы частица-подложка; скорость движения фронта кристаллизации от контактной границы до внешней поверхности сплета. В первом случае скорость охлаждения при затвердевании определяет структурное состояние материала частицы в области с заданной координатой [3], во втором случае скорость движения фронта кристаллизации определяет толщину сплета при заданных условиях напыления (скорость частицы) с учетом теплофизических характеристик материалов (частицы и подложки).

В данной работе для проведения численного моделирования в качестве исследуемых материалов были выбраны: основа (подложка) – сталь 20 или  $Al_2O_3$ , напыляемый материал – Ni или Al. Теплофизические свойства материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Теплофизические свойства используемых материалов

Материал	$T_{пл}, K$	$\rho_0, кг/м^3$	$c, Дж/кг\cdot K$	$\lambda, Вт/м\cdot K$	$L, Дж/кг$
Ст20	1358	7850	690	50,7	—
$Al_2O_3$	2318	3970	1247,4	9	—
Ni	1728	8100	625	78	301694
Al	933,52	2702	903,7	196,46	393

**Целью работы** являлось изучение влияния выбора материала подложки и напыляемого материала на процессы кристаллизации частицы при газотермическом напылении. Проводилась оценка скорости движения фронта кристаллизации при охлаждении напыленной частицы на холодной подложке.

С помощью программы Cristall был выполнен расчет при технологических параметрах:  $T_0=300 K$ ;  $D=100 \text{ мкм} = 0.0001 \text{ м}$ . 1- 100 м/с и 2 – 200 м/с. На рисунке 1 в качестве примера показаны координаты фронта кристаллизации в различные моменты времени в объеме частицы Ni на Ст20 для скоростей напыления 100 и 200 м/с. На рисунке 2 и 3 представлены результаты расчетов для систем: 1) Ni/ Ст20; 2) Al/ Ст20; 3) Ni/  $Al_2O_3$ ; 4) Al/  $Al_2O_3$ . Полученные данные для скорости движения фронта кристаллизации хорошо согласуются с данными скорости охлаждения внутри объема сплета, рисунок 4.

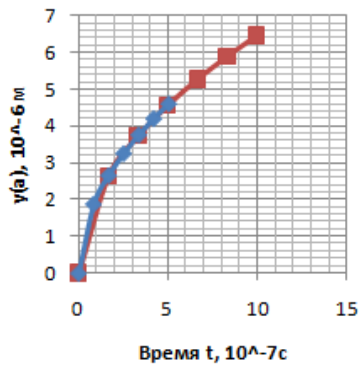


Рисунок 1 – Положение фронта кристаллизации в различные моменты времени при скоростях напыления частицы Ni на Ст20 1- 100 м/с и 2 – 200 м/с

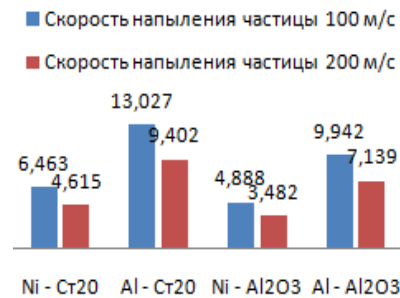


Рисунок 2 – Толщина сплета  $10^{-6}$  м для разных систем для двух скоростей напыления

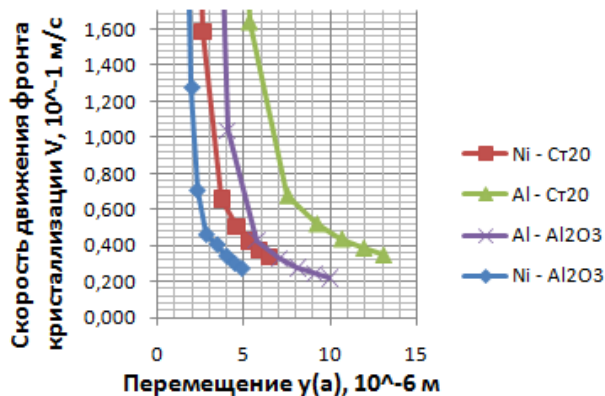


Рисунок 3 – Скорость движения фронта кристаллизации на различных участках в объеме затвердевающей частицы при скорости напыления частицы 100 м/с для разных случаев

Рисунок 4 – Скорости охлаждения в объеме частицы Al в системе Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при разных скоростях напыления

**Заключение:** Согласно полученным результатам, значение скорости движения фронта кристаллизации зависит как от материала частицы, так и от материала основы. При этом показано, что при напылении на стальную основу наибольшая скорость кристаллизации наблюдается для Ni, а при напылении на основу из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – для Al, что связано с теплофизическими свойствами материалов: коэффициент теплопроводности Ст20 значительно больше, чем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Установлено, что вблизи границы частицы-подложка высокие скорости движения фронта кристаллизации соответствуют большим скоростям охлаждения (для частицы Al эта область лежит в пределах до 5 мкм).

#### Список литературы

1. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. М.: Наука, 1977. – 184с.
2. Войчик В.Ф., Зенин Б.С. Формирование структуры покрытия при газотермическом напылении // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 346 с.