

Таблица 1 – Физические свойства и результаты расчета производительности для разных материалов

Материал частиц	ρ , кг /м ³	Тпл, К	h , 10 ⁻⁶ м	t , 10 ⁻⁶ с	P_1 $n=1$	P_2 $n=0,785$	P_3 $n=0,9069$
Al	2702	933,52	6,95	0,73	290,93	228,39	263,85
Ni	900	1728	3,28	2,55	129,47	101,63	117,77
W	19300	3693	3,80	2,28	363,79	285,58	329,93

Заключение

На практике производительность по порошку при газотермическом напылении составляет для разных материалов до 10 – 20 кг /час [4], что значительно ниже, чем полученные результаты расчета. Полученные результаты расчета показывают, что при газотермическом напылении выполняется «принцип независимости» для напыляемых частиц.

Список литературы

1. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 184 с.
2. Слоэн Н. Дж. А. Упаковка шаров // В мире науки. – 1984. – № 3 – С. 72-82
3. Асламазов Л.Г., Варламов А.А. Удивительная физика М.: Добросвет, 2002. – 236 с.
4. Енчинова А.И., Зенин Б.С. Оптимизация параметров процесса напыления газотермических покрытий // Новые материалы. Создание, структура, свойства – 2013: сборник трудов XIII Всероссийской школы-семинара с международным участием. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С.180-184.
5. Бобров Г.В., Ильин А.А., Спектор В.С. Теория и технология формирования неорганических покрытий. – М.: Альфа-М, 2014. – 928 с.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЯ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

В.Ф. ВОЙЦИК, Б.С.ЗЕНИН

Томский политехнический университет

E-mail: vfsv91@gmail.com

При газотермическом напылении имеет место высокая скорость охлаждения при взаимодействии напыленной частицы с холодной подложкой, которая может привести к образованию аморфного состояния материала в объеме частицы.

Интерес к аморфным материалам ученые проявляли давно, так как металлы и сплавы в аморфном состоянии обладают рядом специфических свойств: высокие коррозионная стойкость, прочность, твердость, предел текучести, магнитомягкие характеристики и др.

Объектом исследования являются теплофизические условия формирования структуры материала напыляемой частицы при ее взаимодействии с холодной подложкой. Для исследования были выбраны две группы материалов: частица – Ni, Fe и Cu – подложка (модельные материалы); частица – сплавы, которые применяются на практике для

получения покрытий с аморфной структурой, Cu – подложка. Теплофизические характеристики материалов представлены в таблице 1.

Таблица - 1

Материал	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C, \text{Дж/кг}\times\text{K}$	$\lambda, \text{Вт/м}\times\text{K}$	$L \cdot 10^3, \text{Дж/кг}$
Ni	8900	364	72,2	305
Fe	7870	432	43,1	270
Cu	8933	385	321	213
Fe – 2%B – 3%Si	7360	487	45,4	258
Fe – 1,5%C – 10%Cr	7680	454	46,0	279
Fe – 1,5%C – 40%Cr	7470	521	54,4	319
Fe – 2,2% C – 0,85%Si	7650	437	42,8	263
Co – 10%Ni – 6%Fe – 4%B – 6%Si	8200	985	86,7	256

Для проведения численного моделирования процесса взаимодействия частицы с подложкой была использована компьютерная программа «CRISTALL», которая дает возможность определять температурное поле в объеме частицы в заданный момент времени. В расчетах принимали следующие значения технологических параметров напыления: скорость частицы в момент столкновения с подложкой $V=100$ м/с, диаметр частицы $D=100$ мкм, температура подложки $T_0=300$ К, температура частицы равна температуре плавления $T_m=T_{пл}$.

На рисунке 1 представлены результаты расчета для систем Ni/Fe: распределение температуры в объеме затвердевшей части частицы Ni при ее взаимодействии с подложкой Fe в различные моменты времени и изменение температуры со временем в различных точках в объеме частицы. Подобные расчеты были проведены для системы Ni/Cu.

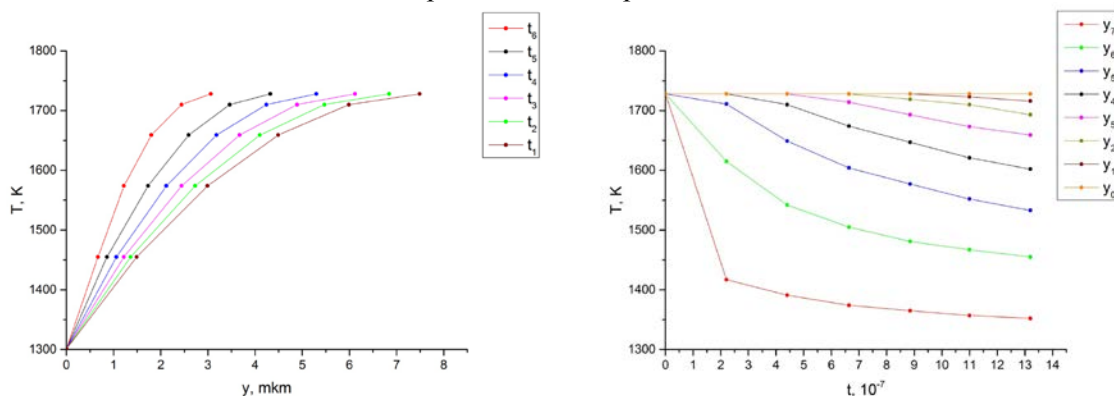


Рисунок 1 – Распределения температуры в объеме частицы в различные моменты времени – (А) и кривые охлаждения в различных точках объема частицы - (Б) (система Ni/Fe)

По данным рисунка 1 определяется скорость охлаждения в разных точках (на разных расстояниях от контактной поверхности) в объеме напыленной частицы (рисунок 2). Можно отметить высокую скорость охлаждения вблизи контактной границы и резкое падение $V_{охл}$ по мере удаления от поверхности. Сравнительный анализ показал, что вблизи контактной поверхности $V_{охл}$ в случае Ni/Cu в 2,5 раза выше, чем для системы Ni/Fe. Такое различие связано с влиянием теплопроводности подложки на $V_{охл}$ частицы.

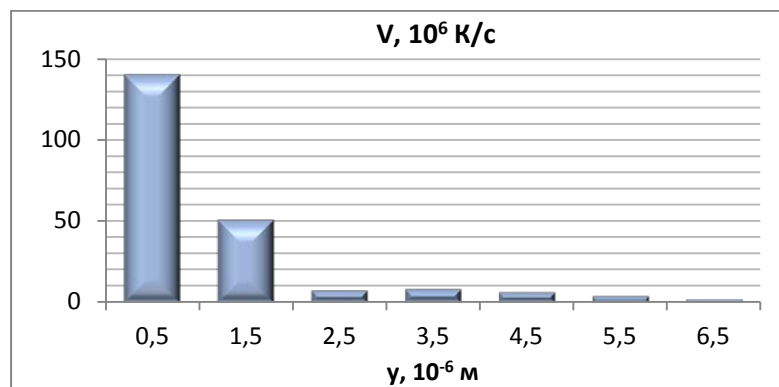


Рисунок 2 – Распределения скорости охлаждения по объему в разных точках напыленной частицы (для Ni/Cu)

Были проведены расчеты скорости охлаждения для 5 различных сплавов на подложку из меди. Установлено, что введение бора и хрома в сплав на основе железа увеличивает скорость охлаждения в 3 раза.

Список литературы

1. Кудинов В. В., Бобров Г. В. Нанесение покрытий напыления. Теория, технология и оборудование. Учебник для вузов. М.: Metallurgy, 1992. 432 с.
2. Коржик В.Н. Теоретический анализ условий аморфизации металлических сплавов при газотермическом напылении. II. Фазообразование при затвердевании напыленного материала // Порошковая металлургия. – 1992. – №10.
3. Мирошниченко И. С. Закалка из жидкого состояния. – М.: Metallurgy, 1982. – 168 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ КЕРАМИЧЕСКОГО СЛОЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.И. БОГДАНОВИЧ¹, М.Г. ГИОРБЕЛИДЗЕ¹

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
E-mail: bogdanovich@ssau.ru

Повышение эффективности, надежности и ресурса являются актуальными направлениями развития современного двигателестроения. Решение данных задач обеспечивается различными конструкторскими и технологическими средствами, в том числе применением новых материалов и специальных покрытий. Защитные покрытия получили широкое распространение при производстве современных газотурбинных двигателей с высокими рабочими температурами, превышающими потенциал жаростойких конструкционных материалов деталей горячего тракта, таких как рабочие и сопловые лопатки турбины, жаровые трубы и камеры сгорания [1-7]. В настоящее время наиболее эффективной с точки зрения тепловой защиты конструкционного материала является система, состоящая из жаростойкого связующего металлокерамического покрытия состава $Me - Cr - Al - Y$ и внешнего керамического покрытия состава $ZrO_2 - 8\%Y_2O_3$ [4,5,7-10]. Помимо применяемых материалов защитный потенциал зависит от метода и технологических режимов получения покрытия, которые предопределяет особенности структуры и его эксплуатационные свойства [10].