

УСЛОВИЕ «ПРИНЦИПА НЕЗАВИСИМОСТИ» ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

М.П. ВАСИЛЬЕВА

Томский политехнический университет

E-mail: msmarianna@icloud.com

При газотермическом напылении слой покрытия формируется последовательной укладкой друг на друга мелких частиц материала покрытия, находящихся в нагретом или расплавленном состоянии. При образовании покрытия частицы деформируются, растекаются и затвердевают.

Анализ пространственно-временных условий формирования покрытия показывает, что напыляемые частицы ложатся на уже закристаллизованные и остывшие до температуры подложки частицы (сплеты) предыдущего слоя [1]. Но такое происходит не всегда. Поэтому вводим понятие «принцип независимости» частиц друг от друга.

Расчет формирования одного слоя покрытия

Дано: пятно напыления $D_n = 2$ см; толщина сплэта $h = 10$ мкм; диаметр частицы до удара $d_{\text{част}} = 100$ мкм. Диаметр сплэта найдем исходя из того, что объем частицы до удара равен объему частицы после удара, то есть:

$$d_{\text{сп}} = \sqrt{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d_{\text{част}}}{2}\right)^3 \times \frac{4}{\pi \times h}} = 258,1 \text{ мкм}$$

Рассмотрим следующие условия образования покрытий.

1) Напыление происходит равномерно по всей площади пятна напыления, образуя сплошной слой: толщина h , объем V_n и масса m_1 .

$$m_1 = \rho \times V_n = \rho \times S_n \times h$$

2) Напыленные частицы (сплеты диаметром $d_{\text{сп}}$) образуют в пятне напыления одномерный слой с коэффициентом плотности упаковки n . В этом случае масса напыленного слоя $m = m_1 \times n$. В [2, 3] показано, что плотность упаковки кругов на плоскости может принимать значение от $n_1 = 0,785$ до $n_2 = 0,907$. В этом случае масса напыленного единичного слоя в пятне напыления

$$m_2 = m_1 \times n$$

Расчет производительности напыления по порошку

В работе проведен расчет предельной производительности напыления P при формировании единичного слоя массой m с учетом термического цикла, для случая, когда слой успевает охладиться до комнатной температуры $T_{\text{ком}}$:

$$P = \frac{m}{t},$$

где $t = 100t_0$, t_0 время кристаллизации частицы при напылении на компактную теплопроводную подложку обычно составляет до 10 мкс [3]. Длительность полного остывания частиц до температуры подложки $\sim 100t_0$ [1].

Расчеты проводились для следующих условий: напыляемые порошки Al, Ni, W , пятно напыления $D_n = 2$ см, диаметр частицы до удара $d_{\text{част}} = 100$ мкм, скорость частиц $v_c = 100$ м/с, частицы расплавленные, $T_c = T_{\text{пл}}$, температура подложки $T_{\text{под}} = 300\text{K}$, подложка из Fe [3].

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