

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА СВС НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

Ян Сяо, Б.С. Зенин

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., Б.С. Зенин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: royyang330@outlook.com

Одной из важных характеристик напыляемых покрытий является адгезия. При газотермическом напылении уровень адгезии определяется как высокой температурой напыляемых частиц, так и их скоростью. В методе холодного газодинамического напыления (ХГН) величина адгезии зависит главным образом не от тепловой, а от кинетической энергии напыляемых частиц, ускоряемых «холодным» газом, что позволяет устранить нежелательный нагрев частиц при их движении в высокотемпературной струе [1]. В основе данной технологии лежит процесс формирования металлических покрытий при соударении холодных (с температурой, существенно меньшей температуры плавления) металлических частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком до скорости несколько сот метров в секунду, с поверхностью обрабатываемой детали [2].

В момент взаимодействия напыляемой частицы с обрабатываемой поверхностью (подложкой) образование адгезионной связи покрытие – основа контролируется величиной контактной температуры на границе частица-подложка. При ХГН контактную температуру можно значительно повысить, если для получения покрытия использовать экзотермически реагирующие порошки [3], в которых выделяется значительное количество тепла за счет реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [4].

В работе проводится анализ влияния величины эффекта адиабатического нагрева на температуру в контакте частицы с подложкой при ХГН на примере пяти порошковых материалов систем Fe-Al и Ni-Al (чистые металлы Fe, Al, Ni и экзотермически реагирующие порошки Fe₅₀Al₅₀, Ni₅₀Al₅₀). Частицы из данных материалов напыляются на подложку из Ст20. Начальная температура подложки T_s = 300K, скорость частиц варьировалась в широких пределах от 100 до 1000 м/с. Повышение температуры для экзотермически реагирующих порошков (тепловой эффект процесса СВС) ΔT_{экз}(Fe₅₀Al₅₀) = 735K и ΔT_{экз}(Ni₅₀Al₅₀) = 1765K [3]. Для расчета температуры в контакте используем метод, предложенный в [5, 6]

$$T_c(\xi, \tau) = T_c^0(\xi, \tau) + T_v(\xi, \tau) \quad (1)$$

где T_c⁰ - температура в контакте двух различно нагретых тел без учета скорости; ΔT_v - температура дополнительного подогрева контакта за счет тепла, выделяемого при ударе. В нашем случае используем эту формулу в виде

$$T_c(\xi, \tau) = T_c^0(\xi, \tau) + T_v(\xi, \tau) + \Delta T_{\text{экз}} \quad (2)$$

Так как для начала экзотермической реакции (СВС) необходим предварительный подогрев исходного материала до температур от 600°C и выше [4], то по формуле (2) расчет для экзотермических порошков проводим для условий, когда их температура за счет кинетической энергии достигнет температуры «зажигания» и начнет выделяться тепловая энергия экзотермической реакции.

Таблица 1 - Теплофизические свойства материалов

Материал	ρ, кг/м ³	c, Дж/кг*К	λ, Вт/м*К	T _м , К
Ni	8900	443.6	90.4	1728
Fe	7870	447	80	1811
Al	2697	903.7	236	933
Fe ₅₀ Al ₅₀	5283	675	158	1372
Ni ₅₀ Al ₅₀	5798	673	163.2	1330
Ст 20	7850	690	50.7	1538

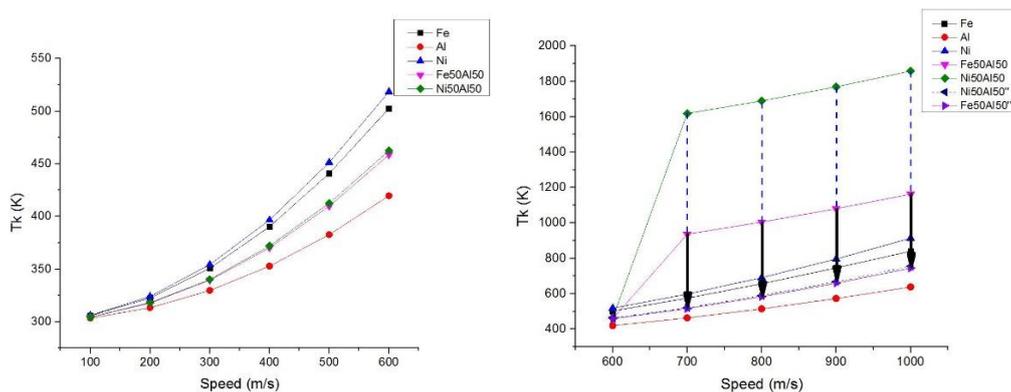


Рис.1. Температура в контакте для напыляемых частиц из чистых металлов и сплавов при скоростях 100-600 м/с (а) и 600-1000м/с (б)

На рисунке 1а представлены результаты расчета температуры в контакте при скоростях 100-600 м/с для исследованных материалов. Для материалов с увеличением скорости частиц температура в контакте возрастает за счет кинетической энергии, достигая при скорости 600 м/с значений 419К, 502К, 518К, 458К и 462К для Al, Fe, Ni, Fe₅₀Al₅₀ и Ni₅₀Al₅₀ соответственно. В сплавах эффект экзотермической реакции проявляется при скоростях от 700 м/с и выше, дополнительно повышая температуру в контакте на $\Delta T_c = 420\text{K}$ для Fe₅₀Al₅₀ и $\Delta T_c = 1098\text{K}$ для Ni₅₀Al₅₀ практически независимо от скорости (по сравнению с гипотетическим случаем - отсутствием СВС реакции) (рисунок 1б).

Выводы. Полученные результаты показывают важную роль дополнительного подогрева напыляемых частиц порошка в момент их контактного взаимодействия с подложкой в формировании контактной температуры и высокую эффективность применения экзотермически реагирующих порошков при получении покрытий с повышенной адгезией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия: -1986. – 204 с.
2. Алхимов А.П. Научные основы холодного газодинамического напыления (ХГН) и свойства напыленных материалов: монография / А.П. Алхимов, В.Ф. Косарев, А.В. Плохов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 280 с.
3. Кулик А.Я., Борисов Ю.С., Мнухин А.С., Никитин М.В. Газотермическое напыление композиционных порошков: - Л.:Машиностроение, 1985. – 199 с.
4. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. – Черногловка: ИСМАН, 2002. – 234
5. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В. Ф. Температура вблизи контактной границы при высокоскоростном соударении микрочастицы с поверхностью. //Физическая мезомеханика 3 1 (2000) 53-57с.
6. Ян Сяо, Чжао Ифань, Зенин Б.С. Особенности температурных условий формирования многослойных покрытий при газодинамическом напылении // Высокие технологии в современной науке и технике / V Международная научно техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 5–7 декабря 2016 г.: сборник трудов. – Томск: – 562 с. 212-213.