

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

Ян Сяо, Чжао Ифань, Б.С. Зенин

Научный руководитель: доцент, к. ф.-м. н. Б.С. Зенин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: royyang330@outlook.com

Технология газотермического напыления покрытий (ГТН) позволяет существенно увеличивать срок службы деталей машин и механизмов. Успешное применение данного метода связано с широким выбором материалов, используемых для нанесения покрытий и обеспечивающих высокий уровень качества поверхности [1]. Особенностью технологии (ГТН) является то, что получаемое покрытие формируется из направленного потока дисперсных частиц. Структура материала покрытия формируется при ударе, деформации и затвердевании нагретых (или расплавленных) частиц на поверхности основы или предыдущих остывших частиц. При этом образуется слоистый материал, состоящий из деформированных частиц (слэтов), соединенных контактными участками. Определяющим условием образования прочного соединения частиц друг с другом и с напыляемой поверхностью (высокой адгезии и когезии) являются высокая скорость частиц и высокая температура на контактной границе частица-подложка.

Под общим названием газотермическое напыление (ГТН) объединяют следующие методы: газопламенное напыление, высокоскоростное газопламенное напыление, детонационное напыление, плазменное напыление, напыление с оплавлением, электродуговая металлизация, активированная электродуговая металлизация. Каждому из методов соответствуют определенные значения температуры и скорости частиц (рис. 1).

В последнее время была предложена новая технология – холодное газодинамическое напыление (ХГН) [2]. 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. Основным энергетическим источником в этом случае является кинетическая энергия напыляемых частиц. Минимальное тепловое взаимодействие частиц с окружающей средой обеспечивает повышенное качество получаемого покрытия.

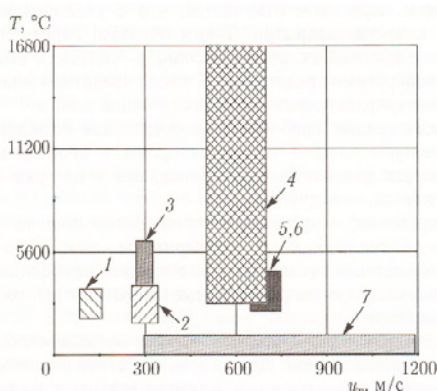


Рис. 1. Диаграмма используемых значений температуры T и скорости частиц сравнения различных методов напыления.
1 – низкоскоростной газопламенный; 2 – высокоскоростной газопламенный; 3 – электродуговой, 4 – плазменный;
5, 6 – детонационный и высокоскоростной жидкотопливный [2]

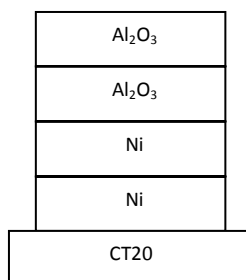


Рис. 2. Схема многослойного покрытия

В работе [3] рассмотрено влияние скорости частиц на температуру в контакте при ГТН многослойных покрытий. Контактная температура, определяющая степень формирования адгезионных связей, в данном

случае определяется как скоростью частиц, так и их температурой. В настоящей работе исследованы температурные условия взаимодействия напыляемой частицы с подложкой при холодном ХГН. Проведен расчет температуры в контакте для случая многослойного покрытия СТ20/Ni/Al₂O₃ (рис.2) при разных скоростях напыляемой частицы.

Температура в контакте определялась по формуле [4]

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

где T_c^0 - температура в контакте двух различно нагретых тел без учета скорости; T_v – температура дополнительного подогрева контакта за счет тепла, выделяемого при ударе.

Таблица 1. Теплофизические свойства материалов

Материал	ρ , кг/м ³	c , Дж/кг*К	λ , Вт/м*К	T_m , К
Ni	8100	625	78,5	1728
Al ₂ O ₃	3970	1666	7,58	2288
СТ20	7850	690	50,7	1538

Для расчёта температуры дополнительного подогрева рассмотрим баланс энергии, принимая, что вся кинетическая энергия частицы переходит в тепловую энергию

$$\frac{mv^2}{2} = mc \Delta T, \quad \Delta T = \frac{v^2}{2c},$$

здесь c – теплоёмкость материала частицы, ΔT – разность температур частицы до удара и после удара. Частица в момент соударения будет иметь температуру $T_m + \Delta T$, где T_m – температура частицы до столкновения с подложкой, ΔT – дополнительный подогрев частицы за счёт кинетической энергии.

$$T_v = \frac{T_s + K_p (T_m + \Delta T)}{1 + K_p},$$

где K_p – критерий тепловой активности частицы по отношению к подложке; T_s , T_p температуры подложки и частицы перед ударом.

$$K_p = \sqrt{\frac{\lambda_p c_p \rho_p}{\lambda_s c_s \rho_s}},$$

где ρ , λ , c – плотность, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости подложки (s) и частицы (p) соответственно.

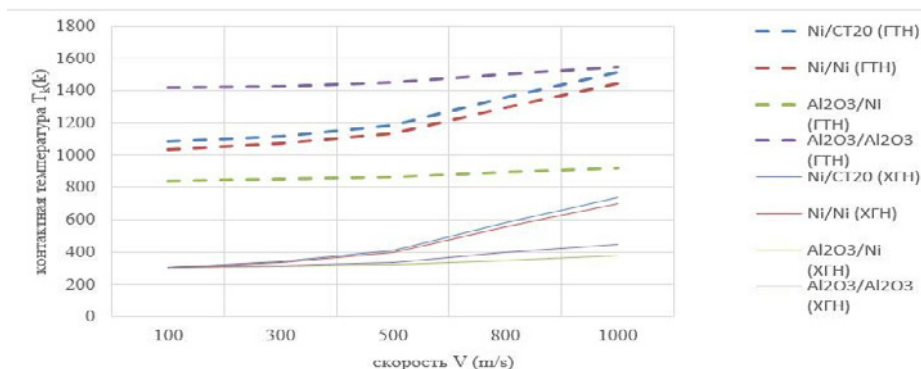


Рис. 2. Влияния скорости частицы на величину контактной температуры на границе частица – подложка при ГТН [3] и ХГН в многослойном покрытии СТ20 / Ni / Al₂O₃

Результаты показывают, что при ГТН уже при скорости в пределах 500 м/с можно получить достаточные условия для формирования адгезионных связей на контактных границах, в то время как при ХГН для этого требуется скорость не менее 1000 м/с.

Список литературы

1. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. – 1986. – 204 с.
2. Алхимов А.П., Косарев В.Ф., Плохов А.В. Научные основы холодного газодинамического напыления (ХГН) и свойства напыленных материалов : монография. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. – 280 с
3. Чень Миншу граничные температурные условия получения многослойных покрытий методом газотермического напыления // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении : труды международной конференции. – Томск, 2016. – С. 177–182.
4. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф. // Физическая мехзомеханика. – 2000. – № 3(1). – С. 53–57.