

ТЕПЛОВЫЕ УСЛОВИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦЫ С ОСНОВОЙ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

ГУЙЛИНЬ МА, Б.С. ЗЕНИН

Томский политехнический университет

E-mail: maguilin1996@gmail.com

Процесс формирования газотермических покрытий имеет сложный характер, определяемый условиями образования покрытия в пятне напыления, связанными с особенностями распределения температуры и скорости частиц в пятне напыления. Обзор литературы [1] показал, что многие авторы рассматривают энергетические условия контактного взаимодействия частицы с основой при газотермическом напылении, в том числе и кинетику образования адгезионных связей, где важную роль играют параметры термического условия. В ряде работ Кудинова [1] показан сложный характер условий образования покрытия в пятне напыления, связанный с радиальными распределениями мощности теплового потока и скорости частиц в поперечном сечении высокотемпературной струи. Поэтому в данной работе мы будем исследовать тепловые условия контактного взаимодействия частицы с основой при газотермическом напылении с учетом таких условий.

Проведем анализ условия образования адгезионных связей, т.е. условия преодоления энергетического барьера E_a . Для этого рассмотрим соотношение между скоростью и температурой напыляемой частицы и проведем количественную оценку кинетической и тепловой энергии, позволяющую учитывать их относительный вклад в энергетику формирования газотермического покрытия.

$$E_p = E_T + E_V = m \left[\int_{T_{p0}}^{T_{pc}} C_p(T_p) dT_p + L \right] + 0.5V^2$$

где: E_p – общая энергия; E_T – тепловая энергия частицы; E_V – кинетическая энергия частицы; m – масса частицы; $C_p(T_p)$ – функциональная зависимость удельной теплоемкости частицы от ее температуры T_p ; L – теплота плавления материала частицы; V – скорость частицы. При температуре частиц ниже точки плавления $L=0$.

Для анализа температурных условий на границе напыленной частицы с основой рассмотрим условия контакта, определяющие адгезию напыляемого покрытия, и условия контакта, определяющие когезию внутри напыленного слоя.

В работе [2] рассматривается процесс деформации напыляемой частицы на основе и предлагается метод расчёта температурных условий на границе.

Температуру в контакте "частица - основа" можно определить как:

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

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. В первом приближении температуру контакта двух полубесконечных тел можно оценить по формуле:

$$T_K = (T_{осн} + K_q T_q) / (1 + K_q)$$

где: T_K – температура в контакте с учетом скорости частиц; ρ – плотность материала частицы (p) и основы (s), c – удельная теплоёмкости; λ – коэффициент теплопроводности; $T_{осн}$ – начальная температура основы; T_q – температура частиц; $K_q = \sqrt{(\rho_p \lambda_p c_p) / (\rho_s \lambda_s c_s)}$ – критерий тепловой активности частицы по отношению к основе.

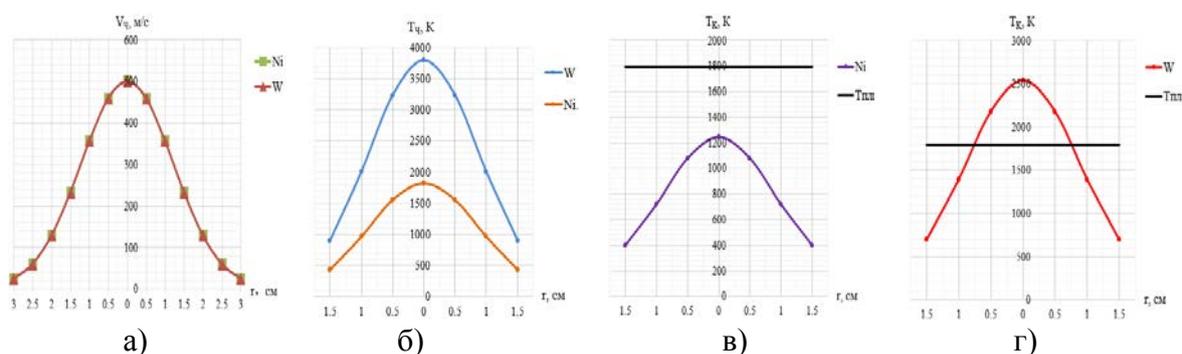


Рисунок 1 – Радиальное распределение скорости частиц а), температуры частиц $T_ч$ б) и контактной температуры $T_к$ в) и г) в пятне напыления с учета скорости ($T_{пл}$ – температура плавления Ст20)

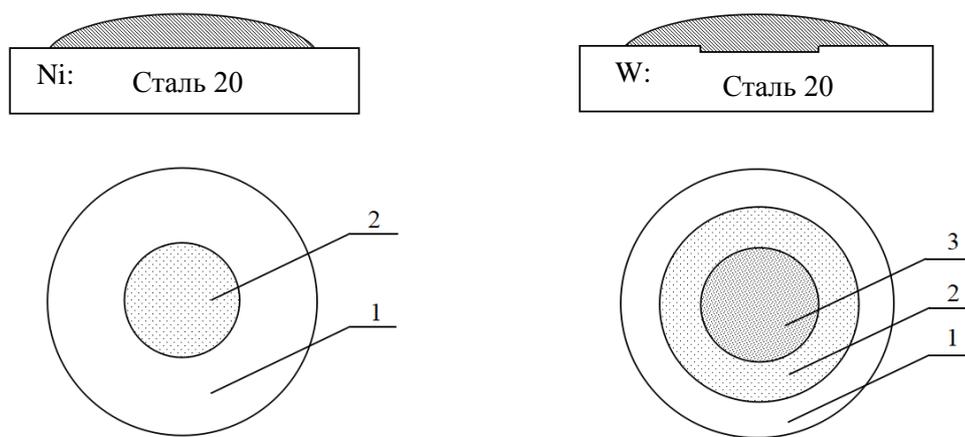


Рисунок 2 – Схема распределения контактных температур на границе покрытие - подложка в пятне напыления для покрытия из Ni и W

На рисунке 2 показаны температурные области в пятне напыления для случая, когда подложка холодная $T_{осн} = 300\text{K}$. Контактная температура между частицей и основой для Ni-Ст20 и W-Ст20 (область 1 – $T_к < 1000\text{K}$, область 2 – $1000\text{K} < T_к < 1800\text{K}$ (температура плавления стали 20) и область 3 – $T_к > 1800\text{K}$).

Список литературы

1. Кудинов В.В., Бобрлов Г.В., Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1992. – 432с.
2. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф. Температура вблизи контактной границы при высокоскоростном соударении микрочастицы с поверхностью // Физическая мезомеханика 3 1 (2000) – С. 53–57.