

## ЭНЕРГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦЫ С ОСНОВОЙ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

ГУЙЛИНЬ МА<sup>1,2</sup>, Б.С. ЗЕНИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Шеньянский политехнический университет;

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

E-mail: [maguilin1996@gmail.com](mailto:maguilin1996@gmail.com)

В основе процесса формирования газотермических покрытий лежит механизм взаимодействия отдельной частицы с поверхностью упрочняемой детали.

При этом одна из главных характеристик любого покрытия – адгезия определяется энергетическими условиями на контактной границе, оценкой которых является энергия активации, рисунок 1. Величина этой энергии зависит от кинетической и тепловой энергии частицы или в общем случае температурными условиями на контактной границе частица с основой.

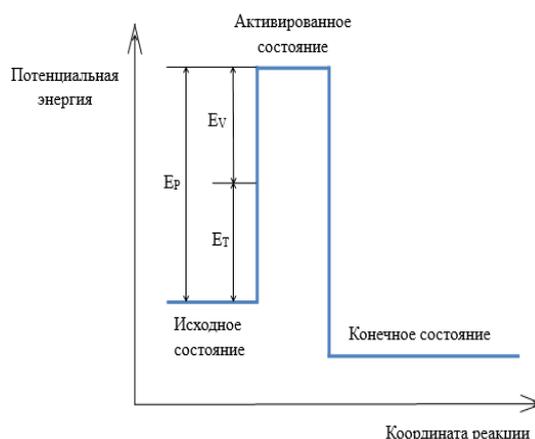


Рисунок 1 – Схема изменения потенциальной энергии системы атомов частицы и основы

Поэтому в данной работе мы будем исследовать температурные характеристики контактного взаимодействия частицы с основой при газотермическом напылении с учетом таких условий. В работе [1] рассматривается процесс деформации напыляемой частицы на основе и предлагается метод расчёта температурных условий на границе. Температуру в контакте "частица – основа" можно определить как:

$$T_K = [T_{\text{осн}} + K_q(T_q + \Delta T) / (1 + K_q)] \quad (1)$$

где  $T_K$  – температура в контакте с учетом скорости частиц;  $T_{\text{осн}}$  – 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 (p) по отношению к основе (s).

Если предположить, что температура химического взаимодействия основы с частицей соответствует определенной температуре в контакте  $T_K$  и при этом в реакцию вступает 70% атомов, находящихся в контакте, то получим выражение для определения энергии активации процесса [2]:

$$E_a \approx k T_K (\ln \tau_0 + 30) \quad (2)$$

где  $E_a$  – энергия активации, которой следует преодолеть энергетические барьеры;  $T_K$  – температура в контакте;  $k$  – постоянная Больцмана. 30 – 30% вступает в реакцию; время  $\tau_0$ , в течение которого частица затвердевает, и в контакте существует постоянная температура  $T_K$ .

$$\tau_0 = \left( \frac{h}{2\alpha} \right)^2 \frac{1}{a} \quad (3)$$

где  $h$  – высота застывшей частицы над рассматриваемой точкой контакта;  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности материала частиц;  $a$  – характеристика тепловой активности

материала частицы по отношению к материалу подложки, определяющая из номограммы [2].

Необходимо отметить, что во всех рассматриваемых процессах и расчетах мы имеем дело с некоторой средней величиной энергии активации, которая складывается из энергии активации большого числа элементарных процессов химического взаимодействия в контакте. Поэтому ее часто называют эффективной или кажущейся энергией активации.

Расчет энергии активации проведен для частиц Ni и W по формуле (2). по предыдущему расчету  $\alpha_{Ni} = 0.623$ ,  $a_{Ni} = 1.551 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\alpha_W = 0.751$ ,  $a_W = 3.5 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ . Результаты расчета для данных исследуемых систем при разных напыленных скоростях представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные данные для исследуемых систем Ni-Ст20						
V, м/с	20	100	200	300	400	500
$T_K, \text{ K}$	1079.79	1083.07	1096.18	1118.02	1148.6	1187.92
$h, \times 10^{-6} \text{ м}$	4.6036	3.2552	2.3018	1.8794	1.6276	1.4558
$\tau_0, \times 10^{-7} \text{ с}$	8.8013	4.4006	2.2003	1.4669	1.1001	0.8801
$E_a, \text{ эВ}$	1.495	1.435	1.387	1.376	1.385	1.409
Расчетные данные для исследуемых систем W-Ст20						
$T_K, \text{ K}$	2223.70	2233.74	2265.13	2317.45	2390.70	2484.87
$h, \times 10^{-6} \text{ м}$	6.0265	4.2614	3.0133	2.4603	2.1307	1.9058
$\tau_0, \times 10^{-7} \text{ с}$	4.5996	2.2998	1.1499	0.7666	0.5750	0.4600
$E_a, \text{ эВ}$	2.955	2.835	2.739	2.722	2.748	2.809

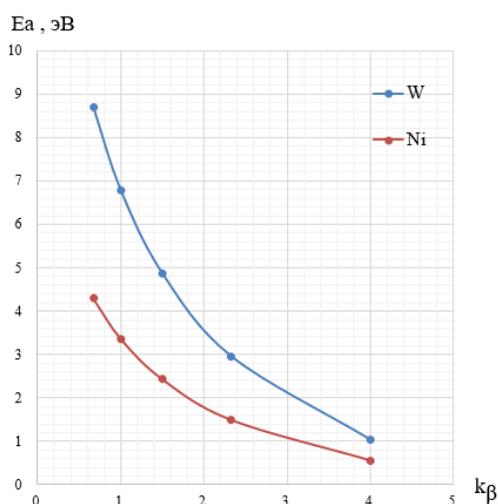


Рисунок 2 – Сравнительная графика энергии активации при различных коэффициентах для разных систем

Энергия активации обратно пропорциональна коэффициенту  $k_\beta$ . В то же время, Относительная адгезия зависит от энергии активации. Чем ниже энергетический барьер, тем выше относительная адгезия между покрытием и подложкой.

### Список литературы

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