

АКТИВАЦИЯ АТОМОВ ПОДЛОЖКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НАПЫЛЕННЫХ ЧАСТИЦ С ОСНОВОЙ В ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПОКРЫТИИ

Храпковская Ю.А.

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

Томский политехнический университет,

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

E-mail: ylia-kallipso@mail.ru

ACTIVATION OF THE SUBSTRATE ATOMS IN THE INTERACTION OF THE SPUTTERED PARTICLES WITH A BASE IN GAS-THERMAL COATING.

Khrapkovskaya Y.A.

Scientific Supervisor: D. Ph., associate Professor, B. S. Zenin

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin Avenue 30, 634050

E-mail: ylia-kallipso@mail.ru

Введение

Адгезия является важной характеристикой, определяющей работоспособность любого покрытия. Процесс формирования адгезионных связей покрытия с основой определяется кинетикой межатомного взаимодействия на контактной поверхности частица – подложка. В теории показано, что прочность сцепления напыляемых частиц с подложкой определяется рядом параметров, среди которых определяющим является энергия активации атомов подложки E_a [1] (Рис. 1).

В работе поставлена задача: разработать метод расчета энергии активации атомов подложки при заданных условиях взаимодействия напыленной частицы с основой.

В [2] показано, что при распределении энергии привносимой частицей в системе частица-подложка можно выделить «горячий» слой приконтактной области подложки толщиной Δh (Рис. 2), состояние которого определяется температурой в контакте T_k .

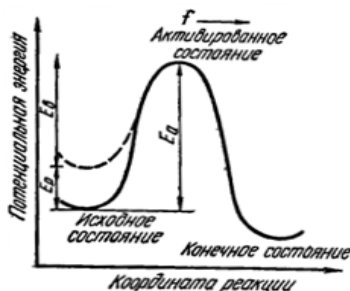


Рис. 1 – Условная схема, поясняющая изменение потенциальной энергии системы частица-основа в зоне контакта при формировании покрытия

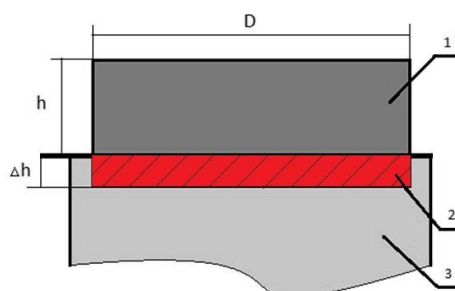


Рис. 2 – Схема формирования сплета (1 – сплет, 2 – «горячий» слой, 3 – подложка).

Для «горячего» слоя можно рассчитать энергию активации атомов подложки по следующей формуле: $\epsilon_a = Q_{гсл} / N_{гсл}$, где $Q_{гсл}$ – энергия в «горячем» слое подложки, $N_{гсл}$ – количество атомов в этом слое.

Материалы основы и покрытия, условия напыления

В качестве модельных материалов при проведении численных расчетов были выбраны для подложки – железо, для напыляемой частицы – никель, вольфрам и алюминий. Теплофизические характеристики материалов представлены в таблица 1.

Таблица 1

Теплофизические характеристики материалов

Материал	$T_{пл}, K$	$\rho_0, \text{кг/м}^3$	$C, \text{Дж/кг}\cdot K$	$L, \text{Дж/кг}\cdot 10^3$
Fe	1810	7870	432,9	276
W	3693	19300	269	185
Ni	1728	8900	364	305
Al	933	2702	903	393

Расчет проводили для следующих условий: диаметр частицы $D_ч = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м; скорость $v = 100$ м/с; начальная температура подложки $T_0 = 300$ K; частица в расплавленном состоянии и ее температура $T_ч = T_{пл}$. Распределение температуры в подложке в момент полной кристаллизации частицы (t^*) для определения толщины «горячего» слоя (Δh) в заданном интервале температур $T_k - T = \Delta T = 30$ K получено с помощью компьютерной программы CRISTALL [3,4].

Результаты расчета

Будем считать, что частица (сплет) после деформации и затвердевания принимает форму цилиндра высотой h и диаметром D . Объем «горячего» слоя определяется контактной площадью S и соответствующей глубиной прогрева подложки Δh . В таблице 2 приведены параметры, необходимые для расчета энергии активации атомов подложки: диаметр напыляемых частиц $D_ч$, температура в контакте T_k , толщина горячего слоя Δh , средняя температура слоя T_{cp} , объем слоя подложки $V_{гсл}$, масса слоя $m_{гсл}$, при напылении различных материалов.

Таблица 2

Характеристики системы частица-подложка при кристаллизации сплета

Материал	T_k, K	T_{cp}, K	$\Delta h, \text{м} \cdot 10^{-7}$	$V_{гсл}, \text{м}^3 \cdot 10^{-19}$	$m_{гсл}, \text{кг} \cdot 10^{-15}$	$t^*, \text{с} \cdot 10^{-7}$
W	2799	2784	2,19	1,43	1,35	1,74
Ni	1395	1380	3,10	0,47	1,92	2,67
Al	826	811	5,27	0,08	3,26	5,53

Согласно [2] распределение энергии в подложке Q можно представить в виде $Q = Q_{гсл} + Q_{ост}$, где $Q_{гсл} = m_{гсл} \cdot C_n \cdot (T_{cp} - T_0)$ - энергия «горячего» слоя, $Q_{ост}$ - остаточная энергия, передаваемая в объем подложки, T_0 – начальная температура подложки. Общее число атомов N в «горячем» слое определим по формуле $N = V / v$, где $V = S \cdot \Delta h$ – объем «горячего» слоя, $v = a^3$ - объем занимаемый одним атомом.

По данным таблицы 2 была рассчитана энергия активации атомов подложки Fe при напылении частиц W, Ni, Al. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Энергия активации атомов подложки при напылении выбранных материалов

Материалы	$Q_{гсл}, \text{Дж} \cdot 10^{-10}$		$Q_{ост}, \text{Дж} \cdot 10^{-3}$		$N, 10^{15}$	$\epsilon_a, \text{Эв}$
W	9,14	0,93%	5,72	41,09%	1,27	4,48
Ni	7,74	2,37%	1,73	58,23%	2,09	2,3
Al	0,59	1,94%	0,63	93,48%	53,5	0,18

Для анализа полученных результатов рассмотрим (Рис. 3), из которого видно, что значение энергии активации атомов Fe подложки при напылении частиц из W и Ni достаточно хорошо коррелирует с температурой плавления материала частицы и с температурой в контакте. На (Рис. 4) показано соотношение параметров, определяющих условия взаимодействия в системе частица-подложка для выбранных материалов. В случае напыления Al энергия активации атомов подложки оказывается существенно ниже. Такой результат можно объяснить тем, что процесс кристаллизации сплава алюминия оказывается длительным (см. рис. 3), в результате чего основная часть энергии за это время переходит во внутренний объем подложки.

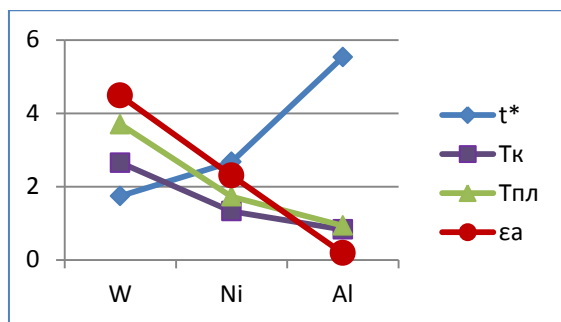


Рис. 3. Теплофизические параметры на границе подложка-частица (W, Ni, Al).

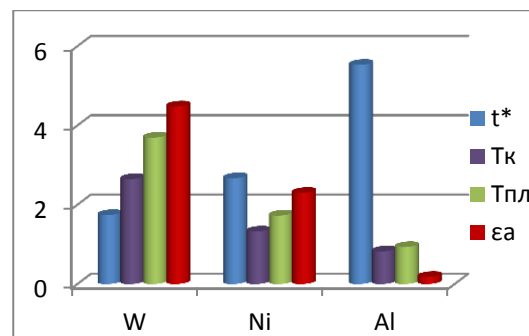


Рис. 4. Соотношение параметров, определяющих условия взаимодействия в системе частица-подложка.

Выводы.

Полученный результат для энергии активации атомов подложки железа в случае напыления никеля $\epsilon_a = 2,3$ Эв находится в хорошем согласии с данными Кудинова [1] $\epsilon_a = 2,17$ Эв, что свидетельствует о корректности проведенных расчетов. Повышенную активацию атомов в подложке железа при напылении вольфрама можно объяснить более высоким энергетическим вкладом, приносимым напыляемой частицей. Низкая степень активации атомов железа при напылении алюминия связана с особым характером теплового взаимодействия частицы с подложкой, при котором основная часть вносимой энергии успевает перейти в глубину подложки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1) В.В.Кудинов, В.М. Иванов. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М.: Машиностроение, 1981, 192 с.
- 2) Ю.А. Храпковская, Б.С. Зенин. Распределение энергии в системе частица-подложка при формировании газотермических покрытий. Труды IV МНТК «Высокие технологии в современной науке и технике» (ВТСНТ - 2015), Томск. НИ ТПУ. 2015 (В печати).
- 3) Ю.А. Митюшова, Б.С.Зенин, Сравнительный анализ адгезионных и когезионных связей газотермических покрытий. Труды XI Всероссийской школы-семинара с международным участием. «Новые материалы – 2011»Томск. НИ ТПУ. 2011. С. 137-142.
- 4) Ю.А. Храпковская, Б.С. Зенин. Энергетическая активация атомов подложки при формировании газотермического покрытия // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении: Сб. материалов международной конференции. - Андижан: 2014. – С.22-25.