

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АТОМОВ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

М.П. Рагулина, Ю.А. Храпковская, Б.С. Зенин

Научный руководитель: доцент, к. ф.-м. н. Б.С. Зенин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: alisa.barton112@gmail.com

В основе метода газотермического напыления покрытий лежит процесс нанесения с помощью высокотемпературной скоростной струи дисперсного порошка или капель расплавленного напыляемого материала, осаждающегося на основном металле при ударном столкновении с его поверхностью. Адгезия является важной характеристикой, определяющей работоспособность любого покрытия. Процесс формирования адгезионных связей покрытия с основой определяется условиями межатомного взаимодействия на контактной поверхности частица – подложка, в которых важную роль играет степень активации атомов поверхностного слоя подложки [1]. В работе [2] предложен способ оценки толщины активированного поверхностного «горячего» слоя. Для «горячего» слоя можно рассчитать энергию активации атомов подложки по следующей формуле: $\varepsilon_a = Q_{г\text{ сл}}/N_{г\text{ сл}}$, где $Q_{г\text{ сл}}$ – энергия в «горячем» слое подложки, $N_{г\text{ сл}}$ – количество атомов в этом слое. Согласно [3] общую энергию в «горячем» слое подложке можно представить в виде $Q_{г\text{ сл}} = m_{г\text{ сл}} \cdot C_{п} \cdot (T_{ср} - T_0)$, где T_0 – начальная температура подложки, $m_{г\text{ сл}}$ – масса «горячего» слоя, $C_{п}$ – удельная теплоемкость материала поверхности, $T_{ср}$ – средняя температура в «горячем» слое. 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, a – параметр кристаллической решетки, S – площадь пятна нагрева.

В работе поставлена задача: рассмотреть, как влияют теплофизические характеристики напыляемого материала на энергетическое состояние атомов в поверхностном слое подложки.

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

Таблица 1. Теплофизические характеристики материалов

Материал	$T_{пл}$, К	ρ_0 , кг/м ³	C , Дж/кг·К	L , Дж/кг·10 ³	λ , Вт/м·К
Fe	1811	7870	447	277	80
W	3693	19300	269	185	99
Ni	1728	8100	625	302	78.5
Al	933	2550	1256	396	217
Al ₂ O ₃	2317	3990	775	1060	40

Расчет проводили для следующих условий: диаметр частицы $D_{ч} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м; скорость $v = 100$ м/с; начальная температура подложки $T_0 = 300$ К; частица в расплавленном состоянии и ее температура $T_{ч} = T_{пл}$. Распределение температуры в подложке в момент полной кристаллизации частицы для определения толщины «горячего» слоя (Δh) в заданном интервале температур $T_k - T = \Delta T = 30$ К получено с помощью компьютерной программы CRISTALL [4, 5].

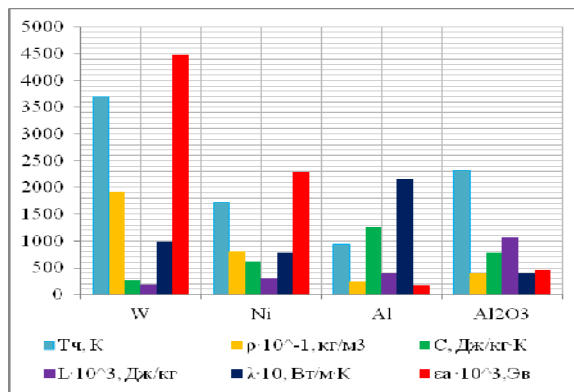


Рис. 1. Соотношение параметров, определяющих условия взаимодействия в системе частица-подложка

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 $V_{г сл}$, масса слоя $m_{г сл}$.

Таблица 2. Характеристики системы частица-подложка при кристаллизации сплета

Материал	T_k, K	T_{cp}, K	$\Delta h \cdot 10^{-7}, m$	$\epsilon_a, \text{Эв}$
W	2799	2784	2,19	4,48
Ni	1395	1380	3,10	2,3
Al	826	811	5,27	0,18
Al ₂ O ₃	1462	1447	1,3	0,45

Для анализа полученных результатов рассмотрим рисунок 1, из которого видно, что величина энергии активации атомов Fe подложки возрастает с увеличением температуры частицы и ее плотности. Увеличение удельной теплоемкости материала частиц приводит к уменьшению энергии активации. Такая закономерность отмечается для металлических материалов. Величина энергии активации для Al₂O₃ выпадает из данной закономерности. В последнем случае энергия активации в значительной степени определяется значениями температуры и удельной теплотой плавления материала частицы. Таким образом, можно ожидать, что адгезия покрытия для выбранных материалов будет уменьшаться в ряду W-Ni-Al₂O₃-Al.

Список литературы

1. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. – М. : Машиностроение, 1981. – 192 с.
2. Храповская Ю.А., Зенин Б.С. Распределение энергии в системе частица-подложка при формировании газотермических покрытий // Высокие технологии в современной науке и технике : труды IV МНТК. – Томск, 2015. – С. 71–73.
3. Храповская Ю.А. Активация атомов подложки при взаимодействии напыленных частиц с основой в газотермическом покрытии // Современные техника и технологии : труды XXI Междунар. научно-практической конференции молодых ученых. – Томск, 2015. – Т.1. – С. 442–444.
4. Митюшова Ю.А., Зенин Б.С. Сравнительный анализ адгезионных и когезионных связей газотермических покрытий. // Новые материалы – 2011 : труды XI Всероссийской школы-семинара с международным участием. – Томск, 2011. – С. 137–142.
5. Храповская Ю.А., Зенин Б.С. Энергетическая активация атомов подложки при формировании газотермического покрытия // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении : сб. материалов международной конференции. – Андижан, 2014. – С. 22–25.