

Энергия «горячего» слоя с увеличением скорости возрастает, а значит, энергия активации отдельных атомов «горячего» слоя зависит от скорости частицы. Температура в контакте с увеличением скорости частицы возрастает, это объясняется увеличением температуры частицы, за счет учета дополнительного нагрева частицы при ударе. Заметим, что время кристаллизации частицы уменьшается с увеличением ее скорости. Это явление обусловлено, уменьшением толщины сплэта с возрастанием скорости частицы.

Выводы. Полученные зависимости параметров, определяющих величину относительной адгезии, от скорости частицы не позволяют однозначно оценить характер влияния скорости на адгезию частицы. Для этого необходимо рассмотреть, какой из факторов (температура в контакте или время полной кристаллизации) вносит решающий вклад в величину относительной адгезии.

Список литературы

1. Кудинов В.В., Пешков П.Ю., Балашенко В.Е.. Нанесение покрытий плазмой – М.:Наука,1990.- 408с.
2. Храпковская Ю.А., Зенин Б.С. Активация атомов подложки при взаимодействии напыленных частиц с основой в газотермическом покрытии. //XXI Международная научная конференция студентов и молодых учёных СТТ-2015. – с.
3. Улыбина Ю.А. Зенин Б.С., Храпковская Ю.А. Оценка влияния скорости частицы при газотермическом напылении на энергию активации атомов в поверхностном слое подложки. ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР с международным участием. Современное материаловедение: материалы и технологии новых поколений 2015, с. 160-164
4. Газотермическое напыление композиционных порошков. / Ю.С. Борисов, А.Я.Кулик, А.С.Мнухин - Л.: Машиностроение, 1985. - 199 с.
5. Кузнецов Ю.А. Перспективные способы высокоскоростного газотермического напыления покрытий. // Материалы 8-й Междунар. практ. конф. "Новые материалы и технологии в машиностроении". 2011.

ГРАНИЧНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

ЧЭНЬ МИНШУ, Б.С. ЗЕНИН

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: t13940132979@gmail.com

BOUNDARY TEMPERATURE CONDITIONS AT PRODUCING MULTILAYER COATINGS BY THERMAL SPRAYING

CHEN MINGSHU, B.S. ZENIN

Tomsk Polytechnic University

E-mail: t13940132979@gmail.com

Abstract. In this article we examined the temperature conditions in contact sputtered particle - substrate at the formation of a multi-layer thermal spray coating. The calculations of contact temperature at the interface sputtered particle - substrate for various combinations of the contacting materials were carried.

Given that the temperature in the contact is an important condition for the formation of the adhesive bond coating to the substrate, we studied the possibility of using the intermediate layer for Al₂O₃ deposition on a steel substrate.

Введение. Порошковые материалы нашли широкое применение в машиностроении. Основные направления, в которых в качестве исходного материала при изготовлении деталей машин и механизмов используются порошки различного состава, это традиционные технологии: порошковая металлургия, различные виды наплавки, газотермическое напыление покрытий, и относительно новые технологии, такие как само распространяющийся высокотемпературный синтез и аддитивные технологии. Главными достоинствами технологий, использующих в качестве исходного материала порошки, являются высокая производительность, высокий КПД использования материала, возможность регулирования состава материала изготавливаемой детали, изготовление деталей из композиционных материалов [1].

В настоящее время в различных отраслях промышленности существует множество проблем, связанных с защитой изделий от воздействия высоких температур, коррозии, повышение износостойкости элементов конструкций, ремонт и восстановлением в течение всего срока их эксплуатации. Одним из способов решения этих проблем может быть нанесение специальных покрытий на поверхность изделий газотермическими методами напыления (ГТН). Высокотехнологичными и перспективными способами нанесения покрытий являются методы газопламенного напыления (ГПН), высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF), плазменного напыления (ПН) и электродуговой металлизации (ЭДМ).

Применяя технологии (ГТН), возможно получить покрытия широкого спектра назначения для промышленности: для микрометеоритной защиты, радиационной защиты, защиты стартовых сооружений и др. Нанесение многослойных газотермических покрытий разнородными материалами обеспечивает как снижение термических напряжений, так возможность получения композиционных покрытий со специальными свойствами [2].

Важной характеристикой любого покрытия является адгезия (когезия), роль которой возрастает при создании многослойных покрытий. Величина адгезии покрытий определяется условиями на уровне контактного взаимодействия частица – подложка, частица – частица и зависит от многих параметров: температура частицы, температура подложки, размер и скорость частицы, время высокотемпературного контакта, давление в контакте и др.

В настоящей работе поставлена задача рассмотреть одно из главных условий, определяющих адгезию (когезию) покрытий - температуру на границе напыленная частица – подложка. Провести для выбранных схем многослойных покрытий расчет контактной температуры на границе «напыляемая частица – основа» при различных режимах напыления, где в качестве основы рассматриваем: а) поверхность напыляемой детали (материал Ст20), б) поверхность предварительно напыленного слоя (подслоя).

Методика расчета контактной температуры. В работе [3] рассматривается процесс деформации напыляемой частицы на подложке и предлагается метод расчёта температурных условий на границе.

Температуру в контакте "частица - подложка" 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:

$$T_c^0(\xi, \tau) = T_c^0 = \frac{T_s + K_p T_p}{1 + K_p}, \quad (1)$$

где $K_p = (\rho_p \lambda_p C_p / \rho_s \lambda_s C_s)^{1/2}$ – критерий тепловой активности частицы по отношению к подложке; T_s, T_p температуры подложки и частицы перед ударом; $\rho_s, \rho_p, \lambda_s, \lambda_p, c_s, c_p$ – плотность, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости подложки (s) и частицы (p) соответственно.

Для более точного определения температура в контакте необходимо учитывать скорость напыляемой частицы (кинетическую энергию). Согласно уравнению (1), для этого необходимо знать температуру дополнительного подогрева контакта за счет тепла, выделяемого при ударе [4]. Для расчёта температуры дополнительного подогрева рассмотрим баланс энергии, принимая, что вся кинетическая энергия частицы $E_{кин}$ переходит в тепловую энергию Q . Тогда из условия:

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

можно рассчитать ΔT – разность температур частицы до удара и после удара или дополнительный подогрев частицы.

$$\Delta T = \frac{v^2}{2c}, \quad (2)$$

Таким образом, учитывая (1) и (2) контактную температуру для произвольной скорости частицы можно определить по формуле

$$T_{cv} = \frac{T_s + K_p (T_p + \Delta T)}{1 + K_p}$$

Материалы и схемы многослойных покрытий. В качестве материала покрытия в работе рассматривается Al_2O_3 . Данное покрытие наносим на подложку СТ20 непосредственно или используя в качестве подслоя Ni и Ti. Для анализа температурных условий на границе напыляемая частица–подложка рассмотрим условия контакта $Al_2O_3/Ст20$, $Ni/Ст20$, $Ti/Ст20$, Al_2O_3/Ni , Al_2O_3/Ti , определяющие адгезию напыляемого слоя, и Al_2O_3/Al_2O_3 , Ni/Ni , Ti/Ti , определяющие когезию внутри напыленного слоя. Схемы многослойных покрытий, для которых проводился расчет, показаны на рис.1.

T_c^0

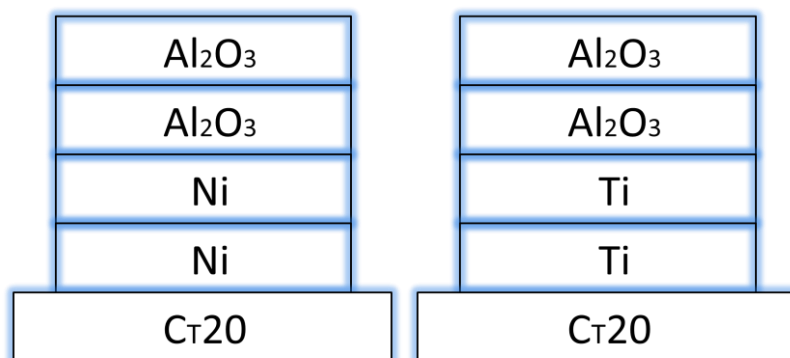


Рисунок 1 - Схемы многослойных покрытий

В таблице 1 представлены теплофизические свойства материалов подложки и частицы, индексы (s) и (p) соответствуют значению свойств материалов при комнатной (s) и высокой (p) температуре.

Таблица 1-Теплофизические свойства материалов

| Материал | ρ , кг/м ³ | c , Дж/(кг*К) | λ , Вт/(м*К) | T_m , К |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------|
| Ni (s) | 8900 | 443.6 | 90.4 | 1728 |
| Ni (p) | 8100 | 625 | 78.5 | 1728 |
| Al ₂ O ₃ (s) | 3970 | 784 | 30.3 | 2288 |
| Al ₂ O ₃ (p) | 3970 | 1666 | 7.58 | 2288 |
| Ti (s) | 4500 | 530.8 | 22.3 | 1944 |
| Ti (p) | 4260 | 854.1 | 33 | 1944 |
| СТ20(s) | 7850 | 690 | 50.7 | 1538 |

Расчеты проводили для следующих условий: нагретые до температуры плавления напыляемые частицы в твердом состоянии, скорость частиц изменяется в пределах от 0 до 1000 м/с, температура подложки $T_s = 300\text{K}$.

В таблице 2 представлены результаты расчета. T_c^0 – температура в контакте частиц с подложкой без учета скорости, ΔT – дополнительный нагрев за счет кинетической энергии, T_{cv} – температура в контакте с учетом скорости частиц.

Таблица 2 - Результаты расчета контактных температур

| Группа | Материал | T_c^0 | $\Delta T, \text{K}$ | | | | | T_{cv}, K | | | | |
|--------|---|---------|----------------------|------|------|------|-------|--------------------|------|------|------|-------|
| | | К | V100 | V300 | V500 | V800 | V1000 | V100 | V300 | V500 | V800 | V1000 |
| 1 | Al ₂ O ₃ (p)/Al ₂ O ₃ (s) | 1417.4 | 3 | 27 | 75 | 192 | 300 | 1418 | 1428 | 1449 | 1498 | 1543 |
| 2 | Ni (p)/СТ20(s) | 1079.8 | 8 | 72 | 200 | 512 | 800 | 1084 | 1119 | 1188 | 1359 | 1516 |
| 3 | Ni (p)/Ni (s) | 1033.1 | 8 | 72 | 200 | 512 | 800 | 1037 | 1070 | 1135 | 1296 | 1443 |
| 4 | Al ₂ O ₃ (p)/Ni (s) | 841.1 | 3 | 27 | 75 | 192 | 300 | 842 | 849 | 862 | 894 | 923 |
| 5 | Ti (p)/СТ20(s) | 954.2 | 5 | 52 | 146 | 374 | 585 | 956 | 975 | 1012 | 1103 | 1187 |
| 6 | Ti (p)/Ti(s) | 1359.41 | 5 | 52 | 146 | 374 | 585 | 1363 | 1393 | 1454 | 1600 | 1736 |
| 7 | Al ₂ O ₃ (p)/Ti(s) | 1080 | 3 | 27 | 75 | 192 | 300 | 1081 | 1091 | 1110 | 1156 | 1198 |

По данным таблицы 2 были построены графики зависимости температура в контакте от скорости частицы.

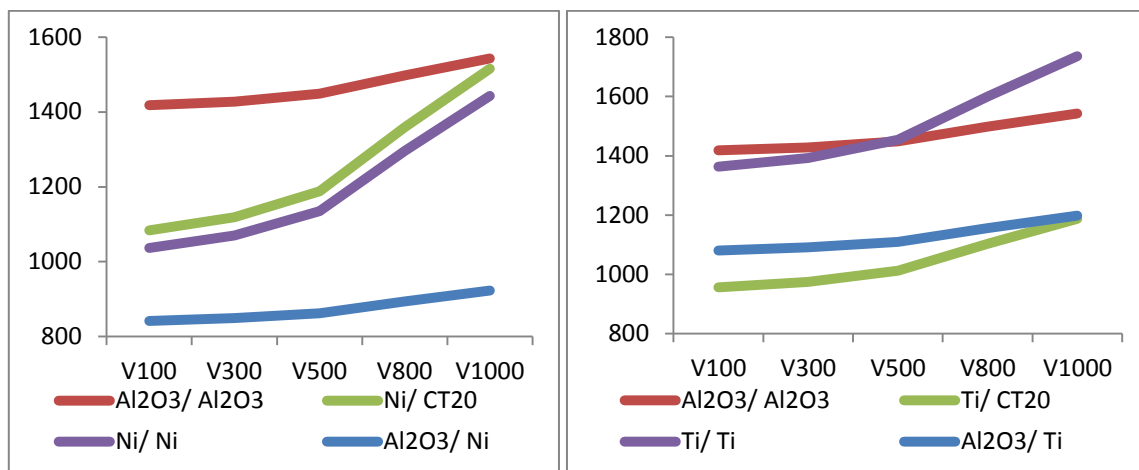


Рисунок 2 - Влияние скорости на величину контактной температуры в многослойных покрытиях Ст/ Ni/ Al₂O₃, Ст/ Ti/ Al₂O₃

Анализ графиков показывает, что при скоростях от 0 до 500 м/с, вклад кинетической энергии в контактную температуру незначителен. При более высоких скоростях от 500 до 1000 м/с температура в контакте металл - подложка заметно возрастает.

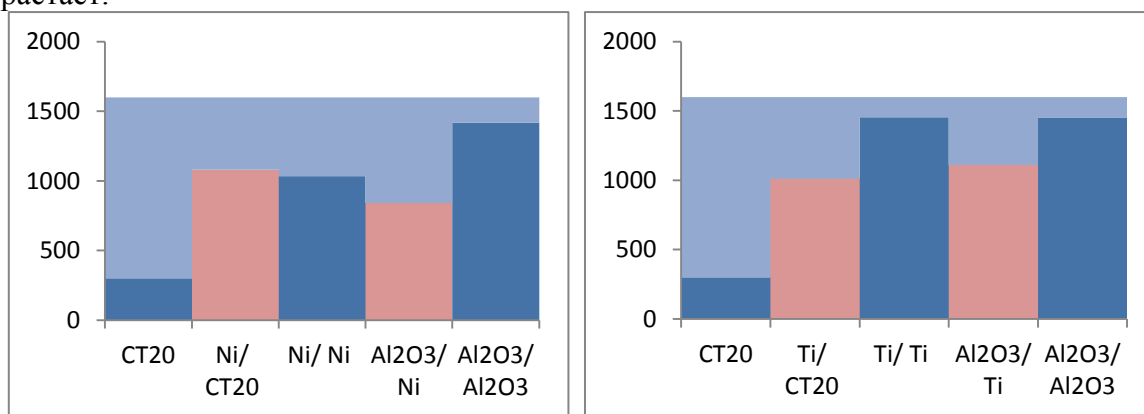


Рисунок 3 - Распределение контактной температуры в система Ст/ Ni/ Al₂O₃ и в системе Ст/ Ti/ Al₂O₃

На рис.3 показано распределение температуры в контакте в рассматриваемых системах при скорости $V = 500$: температура в объеме подложки (Ст), на границе Ст/ Ni, на границе Ni / Ni (в объеме слоя Ni покрытия), на границе Ni/Al₂O₃, на границе Al₂O₃/ Al₂O₃(в объеме слоя Al₂O₃ покрытия). По данным температурам можно качественно оценивать величину адгезионной и когезионной связей в многослойном покрытии. Анализ рис.3 показывает, что при нанесении покрытия Al₂O₃ в качестве материала подслоя титан обеспечит более высокую адгезию по сравнению с никелем.

Список литературы

1. Бобров Г.В., Ильин А.А. Нанесение неорганических покрытий. //М.: «Интермет Инжиниринг» 2004.
2. Солоненко О.П. Теплофизические основы формирования плазменных покрытий из порошков оксидов. //Физическая мезомеханика 4 6 (2001). 45-56с.
3. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В. Ф. Температура вблизи контактной границы при высокоскоростном соударении микрочастицы с поверхностью. //Физическая мезомеханика 3 1 (2000) 53-57с.

4. Кулик А. Я., Борисов Ю. С., Мнухин А. С., Никити М. Д. Газотермическое напыление композиционных порошков. //Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. –199с., ил.

СВОЙСТВА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН С ПОЛИМЕРНЫМ СЛОЕМ, ПОЛУЧЕННЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА В ВАКУУМЕ

Т.К АХМЕТШАРИПОВА¹, В.В СОХОРЕВА¹, Л.И КРАВЕЦ²

¹Томский политехнический университет

²Объединенный институт ядерных исследований,
Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова

E-mail: Tamina.Akhmetsharipova@mail.ru

PROPERTIES OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) TRACK MEMBRANES WITH POLYMER LAYER FORMED BY MAGNETRON SPUTTERING OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE IN VACUUM

T.K. AKHMETSHARIPOVA, V.V. SOKHOREVA, L.I. KRAVETS

¹Tomsk Polytechnic University

²Joint Institute for Nuclear Research, Flerov Laboratory of Nuclear Reactions

E-mail: Tamina.Akhmetsharipova@mail.ru

Annotation. The surface, structure and electrotransport properties of poly(ethylene terephthalate) track membranes with a polymer layer obtained by magnetron sputtering of polytetrafluoroethylene in vacuum has been studied.

В настоящее время большой интерес представляет разработка методов создания двухслойных полимерных мембран, в которых один из слоев имеет гидрофобную природу, а также изучение электротранспортных свойств таких систем. Один из методов создания мембран подобного рода заключается в осаждении на пористую подложку слоя полимера, синтезированного в плазме. Использование плазмы имеет большие преимущества: возможность регулирования толщины осажденного слоя полимера, его высокую адгезию, малое время проведения процесса и возможность применения широкого круга органических и элементоорганических соединений. С целью создания композитных мембран с гидрофобным слоем в [1, 2] были проведены исследования по модификации поверхности полиэтилентерефталатных трековых мембран в плазме органических соединений, не содержащих функциональные группы: ацетилене [1] и 1,1,1,2-тетрафторэтане [2]. Однако, как было показано авторами, обработка в плазме данных соединений приводит к формированию полимерных слоев, содержащих карбоксильные группы, образование которых связано с наличием остаточного кислорода в вакуумной реакционной камере и с окислением при выносе образцов на воздух. В этой связи поиск новых методов синтеза двухслойных полимерных мембран, в составе которых один из слоев имеет гидрофобную природу, является весьма актуальным.

В данной работе с целью получения двухслойных композитных мембран, содержащих гидрофобный слой, на одну из сторон пористой подложки, в качестве которой была использована полиэтилентерефталатная трековая мембрана (ПЭТФ ТМ),