

УДК 621.793.74

doi: 10.18698/0536-1044-2020-4-44-53

Влияние технологических параметров процесса плазменного напыления на макроструктуру титановых покрытий

С.В. Бабин, Е.Н. Егоров, А.А. Фурсов

Ступинский филиал МАИ

The Influence of Technological Parameters of the Plasma Spraying Process on the Macrostructure of Titanium Coatings

S.V. Babin, E.N. Egorov, A.A. Fursov

Stupino branch of the Moscow Aviation Institute

Капиллярно-пористые поверхности применяют для эндопротезирования и повышения прочности различных адгезионных соединений, в каталитических и теплообменных аппаратах. Один из вариантов получения капиллярно-пористых поверхностей — создание шероховатых покрытий плазменным напылением. Выявление зависимостей параметров макроструктуры капиллярно-пористых покрытий от технологических факторов процесса плазменного напыления, позволяющее регулировать характеристики поверхности, является актуальным, важным и необходимым условием для формирования требуемых свойств покрытий. Однако в научной литературе недостаточно представлены исследования влияния технологических параметров плазменного напыления на строение и макроструктуру плазменно-напыленных титановых покрытий. В связи с этим исследовано влияние шероховатости, кривизны и материала поверхности подложки, дистанции и угла напыления на структуру капиллярно-пористого покрытия, выполненного из титана ВТ1-0, нанесенного на подложку из титанового сплава ВТ6. Проведен регрессионный анализ результатов экспериментов. Показано, что все эти параметры значимо влияют на структуру покрытия. Полученные экспериментальные зависимости позволяют создавать покрытия с требуемыми параметрами по макроструктуре, оценивать возможность создания титановых покрытий такого рода и обоснованно выбирать параметры процесса плазменного напыления.

Ключевые слова: капиллярно-пористое покрытие, титановое покрытие, угол напыления, макроструктура покрытия, шероховатость поверхности подложки

Capillary-porous surfaces are used in endoprosthetics as well as in catalytic converters and heat exchangers to increase the strength of adhesive bonding. Plasma spraying is one of the methods to obtain rough coatings for capillary-porous surfaces. Determining the relationships between the parameters of macrostructure of capillary-porous surfaces and the technological factors of the plasma spraying process enables one to control the surface characteristics. It is an important and fundamental element in the formation of the required properties of the surface. However, studies on the influence of technological parameters of plasma spraying on the construction and macrostructure of plasma-sprayed titanium surfaces are insufficient in scientific literature. This paper presents a study on the influence of roughness, curvature and the material of the supporting plate surface, as well as distance

and angle of spraying on the structure of a VT1-0 titanium capillary porous coating applied to a VT6 titanium alloy supporting plate. A regression analysis of the experiment results is performed. It is shown that all the parameters have a significant influence on the surface structure. The experimentally obtained relationships make it possible to produce surfaces with required macrostructure parameters. They help to evaluate the possibility of obtaining titanium surfaces of this kind and thoroughly select parameters of the plasma spraying process in order to obtain surfaces with the required properties.

Keywords: capillary porous surface, titanium coating, spraying angle, surface macrostructure, surface roughness of the supporting plate

Поверхности изделий для эндопротезирования, адгезионных соединений [1], каталитических и теплообменных аппаратов [2] требуют высокой развитости. Этого можно достигнуть разными методами, одним из которых является плазменное напыление.

Для таких изделий и устройств важное значение имеют макроструктура капиллярно-пористого покрытия (КПП) и возможность управления ею. На макроструктуру покрытия воздействуют многие факторы: шероховатость и материал поверхности подложки, кривизна поверхности подложки, дистанция и угол напыления.

В данной статье приведены результаты исследования влияния перечисленных факторов на такие макроструктурные показатели титанового КПП из сплава VT1-0, как средняя высота неровностей, средний размер неровности, средний размер пор и пористость.

В настоящее время существует много работ [3–8], посвященных изучению взаимодействия расплавленной капли металла с поверхностью подложки, исследованию структуры покрытий [9, 10] и динамики растекания капли по поверхности [6, 11], формированию КПП [12–15].

Однако в литературе недостаточно рассмотрено влияние параметров технологического процесса (материала, шероховатости, кривизны поверхности подложки, угла напыления покрытия и дистанции напыления) на строение и макроструктуру КПП, нанесенных с помощью плазменного напыления.

Цель работы — экспериментальное изучение зависимости макроструктуры плазменного титанового КПП из сплава VT1-0 от указанных параметров технологического процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать параметры макроструктуры покрытий, нанесенных на подложки из различных материалов при одинаковых режимах плазменного напыления;

- определить влияние угла напыления на параметры макроструктуры и пористость плазменного титанового КПП, нанесенного на подложку из титанового сплава VT6;

- выявить зависимости макроструктуры покрытия от дистанции напыления;

- оценить влияние кривизны поверхности подложки на параметры титанового КПП.

Методика проведения экспериментов. Покрытие на образцах получали методом плазменного напыления путем распыления проволоки из технического титана марки VT1-0 диаметром 1,5 мм в камере с контролируемой средой. В качестве плазмообразующих газов использовали смесь аргона с гелием (расход Ar — $1 \cdot 10^{-3}$ м³/с, расход He — $0,2 \cdot 10^{-3}$ м³/с). Мощность распыления составляла 9 кВт (при напряжении $U = 30$ В и силе тока $I = 300$ А), дистанция напыления (обусловленная возможностями установки для напыления в контролируемой среде) — 170 и 210 мм, температура подложки (контролируемая пирометром) — 300 °С, толщина покрытия образцов — 0,5...0,6 мм.

Измерение открытой, закрытой и общей пористости покрытия проводили методом гидростатического взвешивания в соответствии с ГОСТ 18893–73. Исследование макроструктуры полученных КПП выполняли фотографическим методом. Для удаления блеска и приведения поверхности к единому тону покрытие после напыления матировали пескоструйной обработкой стеклянными микрошарами.

Освещение образцов осуществляли направленным источником рассеянного света под углом 45°. Все образцы фотографировали в сравнимых условиях камерой FUJIFILM FinePix S20. Затем проводили обработку фотографий с помощью программы ImageJ, в результате чего получали профили покрытий (рис. 1). На рис. 1 параметр «расстояние» обозначает дистанцию, на которой проводилось измерение уровня серого.

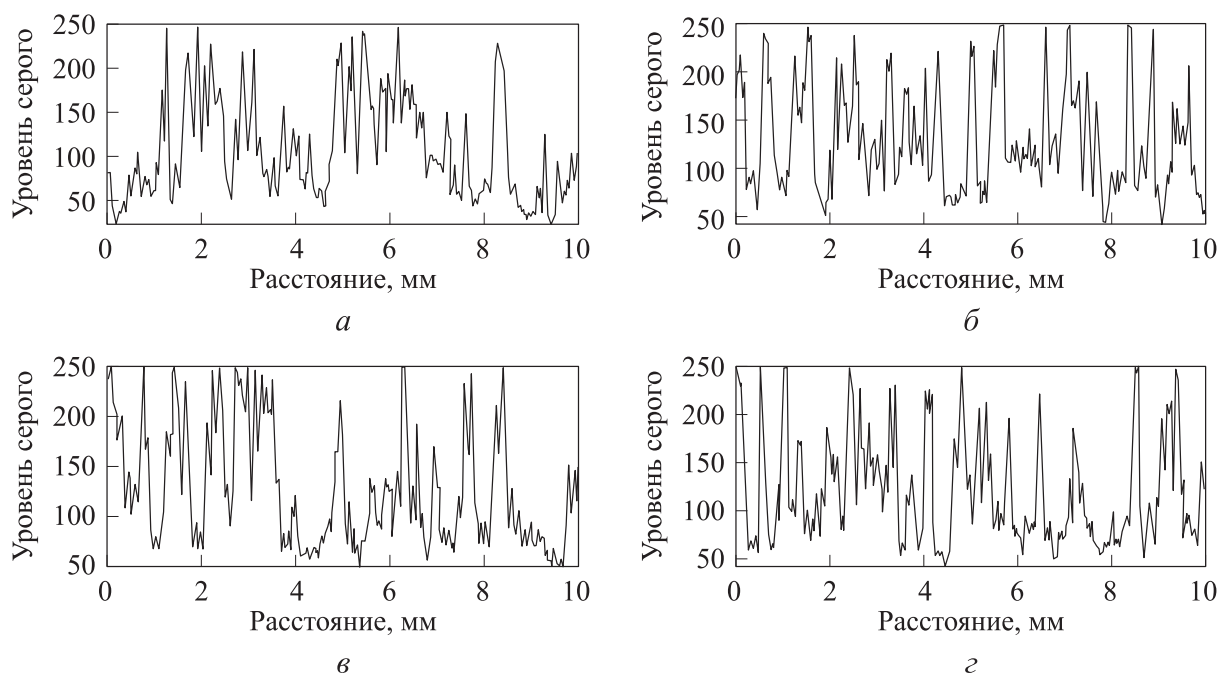


Рис. 1. Профили покрытий, полученные с помощью анализа изображения в программе ImageJ, при угле напыления $\alpha = 90^\circ$ и различных материалах подложки:
 а — алюминий марки АД; б — титановый сплав ВТЗ-1; в — медь марки М1; г — сталь Х18Н9Т

Подробнее методика обработки фотографий и анализа изображений покрытий приведена в работах [11, 13].

Поверхность подложки подготавливали путем пескоструйной обработки корундом разной фракции (0,3...0,5 мм, 0,8...1,2 мм), матированием стеклянными микрошарами диаметром 0,1...0,2 мм и шлифованием поверхности. Шероховатость поверхности подложки определяли измерителем шероховатости TR210.

В качестве поверхности, имеющей различную кривизну, использовали цилиндры разного диаметра (10, 15, 22, 37 и 50 мм) из сплава ВТЗ-1. Чтобы осуществить напыление в одинаковом режиме и сходных условиях, цилиндры опескоструивали и собирали в один блок. Далее наносили покрытие под углом 50° к оси блока образцов.

В качестве параметров, характеризующих макроструктуру покрытий, исследовали высоту

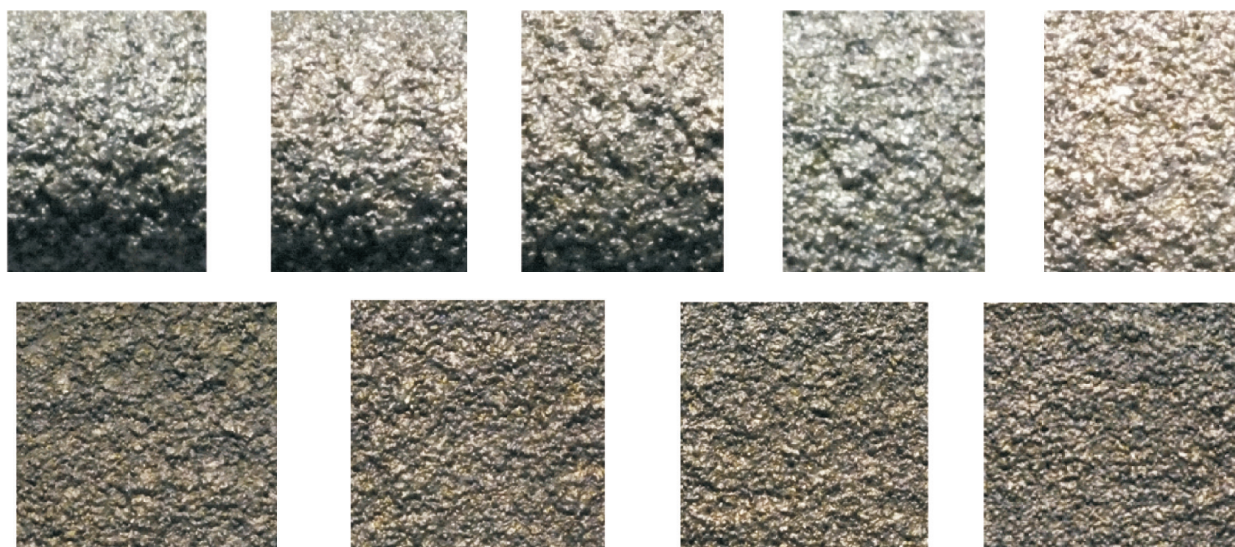


Рис. 2. Примеры поверхности покрытий, подготовленных для анализа



Рис. 3. Параметры макроструктуры титанового КПП, сформированного на поверхности различных материалов, при угле напыления 90°:

▨ — средняя высота неровностей; ▩ — средний размер неровностей;
 ▮ — средний размер пор; ▯ — средний диаметр сплэта

неровностей (высоту пиков на профилограммах, полученных с помощью программы ImageJ), размер неровностей (ширину пиков в основании), размер пор (расстояние между пиками) и диаметр сплэтов. Тарировка фотографий по известным размерам элементов покрытия позволила провести сравнительный анализ и оценить влияние технологических факторов процесса напыления на параметры макроструктуры плазменного КПП.

Примеры поверхности покрытий, подготовленных для анализа, приведены в работах [11, 13] и на рис. 2.

Напыление образцов покрытий для исследования влияния угла напыления на параметры КПП проводили при дистанции напыления $L = 170$ мм и угле напыления $\alpha = 25, 40, 50, 60$ и 90° .

Результаты экспериментов и их обсуждение.

Изучение влияния материала подложки на структуру КПП представляет интерес при его выборе для теплообменного аппарата. Полученные данные (рис. 3) показывают, что макроструктура титанового КПП существенно зави-

сит от материала подложки. Параметры макроструктуры по высоте и среднему размеру неровностей могут изменяться примерно до 30 %, а по среднему размеру пор — до 60 %. Так, максимальная высота неровностей (0,85 мм) наблюдается у покрытия, напыленного на алюминий, а минимальная (0,58 мм) — на медь.

Размеры неровностей максимальны для меди (0,3 мм). Для других материалов подложек неровности мало различаются и равны примерно 0,20...0,23 мм. Наибольший средний размер пор имеют покрытия, нанесенные на углеродистую сталь (0,36 мм), наименьший — на алюминий (0,15 мм).

Такие различия в структуре покрытий связаны прежде всего с физико-химическими свойствами материалов, использованных в качестве подложек, в частности, с их различной смачиваемостью жидкой каплей в момент формирования КПП. Например, плохое смачивание пары медь — титан затрудняет растекание капли и формирование сплэта, что приводит к укрупнению его размеров (увеличению диаметра и снижению высоты). Для более

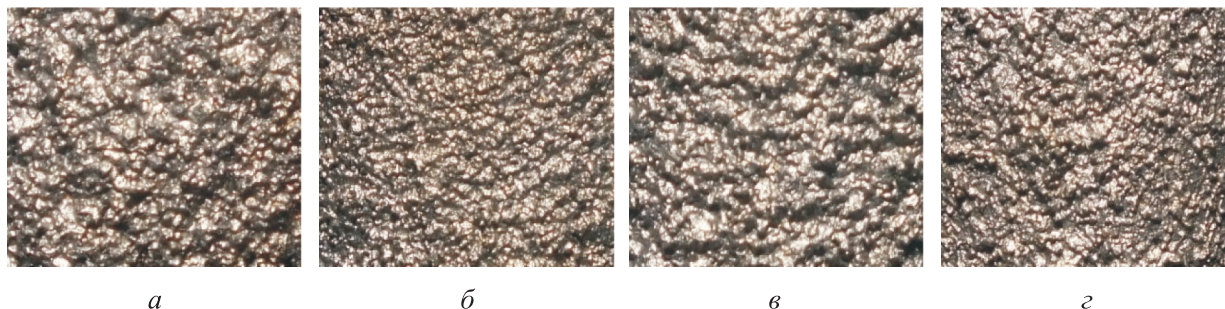


Рис. 4. Внешний вид поверхности покрытий, нанесенных на подложку из титанового сплава ВТ6 под разными углами напыления:
 а — $\alpha = 40^\circ$; б — $\alpha = 90^\circ$; в — $\alpha = 50^\circ$; з — $\alpha = 25^\circ$ (увеличение $\times 10$)

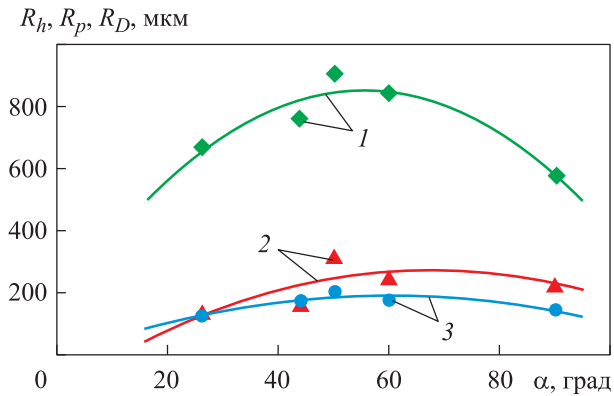


Рис. 5. Зависимость средней высоты неровностей R_h (1), среднего размера пор R_p (2) и среднего размера неровностей R_D (3) плазменного КПП из технического титана марки ВТ1-0, нанесенного на подложку из титанового сплава ВТ6, от угла напыления α : точки — экспериментальные данные; кривые — результаты регрессионного анализа

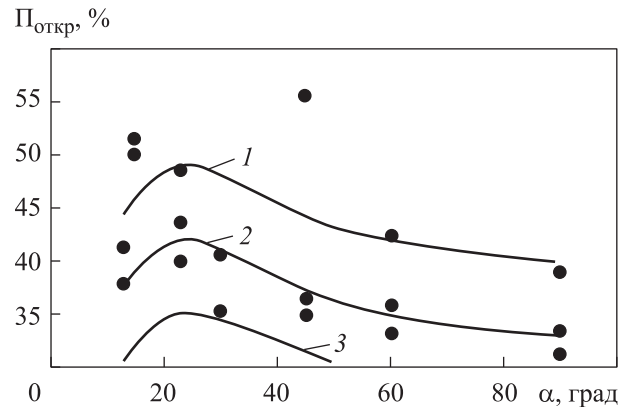


Рис. 6. Зависимость открытой пористости $P_{\text{откр}}$ плазменного КПП из технического титана марки ВТ1-0, нанесенного на подложку из титанового сплава ВТ6, от угла напыления α : 1, 3 — линии тренда; 2 — экспериментальная зависимость; ● — экспериментальные точки

обоснованных выводов необходимо провести комплексные исследования зависимости параметров макроструктуры от физико-химических свойств поверхностного слоя.

Результаты исследований параметров макроструктуры покрытий, нанесенных на подложку из титанового сплава ВТ6 под разными углами напыления α , приведены на рис. 4 и 5. При $\alpha \approx 45...50^\circ$ наблюдаются максимальные значения высоты и ширины неровностей, а также размеров пор.

На основе регрессионного анализа получены следующие математические зависимости средней высоты неровностей R_h , среднего размера

пор R_p , среднего размера неровностей R_D плазменного КПП от угла напыления α (см. рис. 5, кривые 1–3):

$$R_h = -0,2326\alpha^2 + 25,786\alpha + 143,71;$$

$$R_p = -0,0857\alpha^2 + 11,538\alpha - 116,41;$$

$$R_D = -0,0548\alpha^2 + 6,5947\alpha - 8,4893.$$

Коэффициент детерминации модели $R^2 = 0,79$, статистическая ошибка модели $S = 25$ μm .

Экспериментальная оценка зависимости открытой пористости $P_{\text{откр}}$ плазменного КПП из

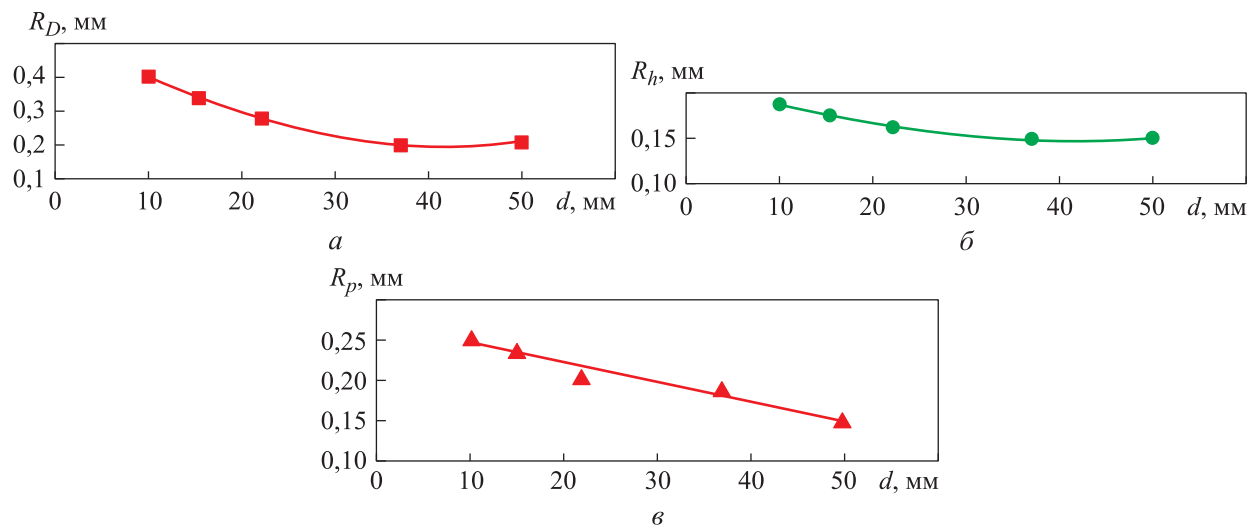


Рис. 7. Зависимости среднего размера частиц (неровностей) R_D (а), средней высоты неровностей R_h (б) и среднего размера пор R_p (в) плазменного КПП от кривизны поверхности d : точки — экспериментальные данные; кривые — результаты регрессионного анализа

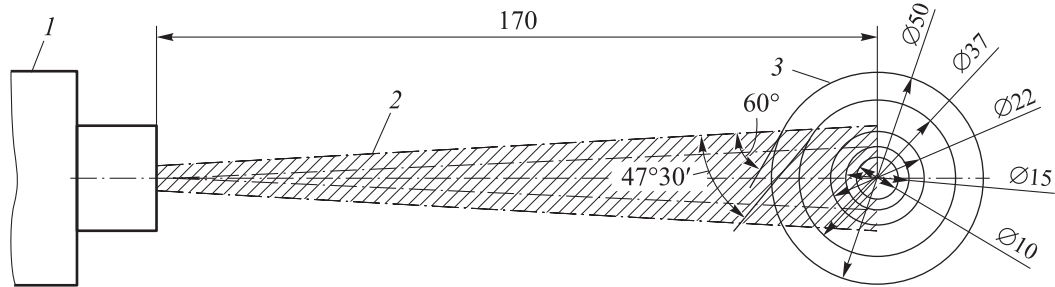


Рис. 8. Схема напыления и зоны покрытия поверхности образцов:
1 — плазматрон; 2 — плазменная струя с потоком частиц напыляемого материала;
3 — блок образцов различного диаметра

технического титана марки ВТ1-0, нанесенного на подложку из титанового сплава ВТ6, от угла напыления (рис. 6) показала наличие экстремума. В результате регрессионного анализа установлено, что зависимость открытой пористости покрытия от угла напыления имеет следующий вид:

$$\Pi_{\text{откр}} = \frac{\alpha}{1,19 - 0,053\alpha + 1,49 \cdot 10^{-3} \alpha^2}.$$

Коэффициент детерминации модели $R^2 = 0,59$, статистическая ошибка модели $S = 2,48$ %. Коэффициент корреляции $R = 0,77$, что свидетельствует о сильной значимой связи между открытой пористостью и углом напыления. Причем максимальные значения пористости (~28...30 %) наблюдаются при $\alpha = 25...35^\circ$. С увеличением угла напыления от 30 до 90° открытая пористость уменьшается до ~8...10 %. Сравнительный статистический

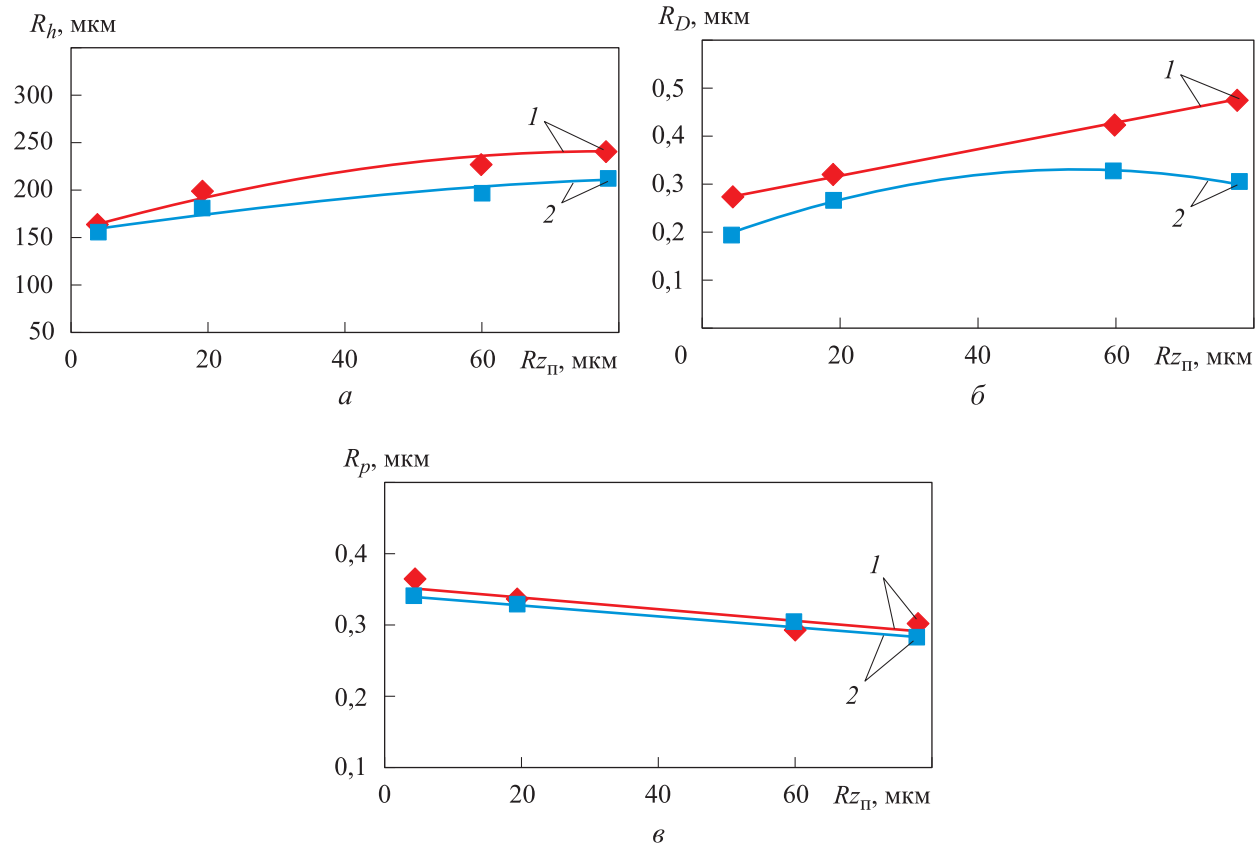


Рис. 9. Зависимости средней высоты неровностей R_h (а), размера частиц (неровностей) КПП R_D (б) и среднего размера пор R_p (в) от шероховатости поверхности подложки $Rz_{\text{п}}$ при дистанции напыления $L = 210$ (1) и 170 мм (2): точки — экспериментальные данные; кривые — результаты регрессионного анализа

анализ показал, что при $\alpha > 50^\circ$ процесс формирования покрытия стабильнее, чем при меньших углах напыления.

Зависимости параметров макроструктуры плазменного КПП — среднего размера частиц, средней высоты неровностей и среднего размера пор — от кривизны поверхности, оцениваемой диаметром образца d , приведены на рис. 7.

Полученные экспериментальные зависимости позволяют описать механизм влияния кривизны поверхности на формирование макроструктуры покрытия. Рельеф поверхности покрытия образуется в результате так называемого теневого эффекта, рассмотренного в работе [6]. Эффект проявляется в том, что поверхностный рельеф, существующий на исходной поверхности или формируемый напыляемыми на нее частицами, выполняет роль препятствия, за которым покрытие не создается.

Теневой эффект приводит к изменению как высоты неровностей, так и размера частиц и пор, формирующих структуру. Полученные данные хорошо согласуются с результатами работы [6], из которых следует, что теневой эффект оказывает значительное воздействие на макроструктуру покрытий при угле соударения частиц с подложкой менее 50° .

Анализ процесса напыления показал (рис. 8), что увеличение кривизны поверхности, наблюдаемое при уменьшении диаметра подложки, приводит к возрастанию относительной доли поверхности, на которой угол соударения частицы с подложкой меньше 50° . Например, при пятне напыления 25 мм для цилиндра диаметром 10 мм 38 % поверхности формируется при угле соударения частицы с подложкой менее 50° . Для цилиндра диаметром 50 мм основное напыление осуществляется при угле соударения $64...90^\circ$.

На основе регрессионного анализа влияния шероховатости подложки на параметры покрытия получены следующие математические модели и их коэффициенты детерминации:

$$R_{h1} = -0,014(Rz_n)^2 + 2,173Rz_n + 155,8; \\ R^2 = 0,973;$$

$$R_{h2} = -0,004(Rz_n)^2 + 1,075Rz_n + 155,2; \\ R^2 = 0,957;$$

$$R_{D1} = 0,002Rz_n + 0,264; \\ R^2 = 0,993;$$

$$R_{D2} = -5 \cdot 10^{-5} (Rz_n)^2 + 0,005Rz_n + \\ + 0,178; R^2 = 0,995;$$

$$R_{p1} = -0,0008Rz_n + 0,3568; \\ R^2 = 0,8622;$$

$$R_{p2} = -0,0008Rz_n + 0,3455; \\ R^2 = 0,9944,$$

где индекс «1» соответствует дистанции напыления $L = 210$ мм, а индекс «2» — $L = 170$ мм.

Экспериментальные и регрессионные зависимости средней высоты неровностей, размера частиц (неровностей) и среднего размера пор от шероховатости поверхности подложки при дистанции напыления $L = 210$ и 170 мм приведены на рис. 9.

Увеличение исходной шероховатости подложки оказывает значительное влияние (30...40 %) на среднюю высоту неровностей в последующем нанесенном покрытии. С возрастанием шероховатости подложки размер частиц, формирующих покрытие, может стать больше на 50...70 %. Размер пор несущественно зависит от шероховатости подложки и уменьшается с ее увеличением на 16 %. Дистанция напыления оказывает заметное влияние на высоту неровностей и размер частиц КПП и несущественно на размер пор.

Выводы

1. Показано, что материал подложки существенно влияет на структуру покрытия. Это необходимо учитывать при разработке конструкций, имеющих покрытия с заданными свойствами.

2. Экспериментально установлено следующее:

- зависимость параметров макроструктуры покрытия от угла напыления носит экстремальный характер с максимумом в интервале $25...35^\circ$ для открытой пористости и $40...50^\circ$ для высоты неровностей, их размеров и величины пор;

- увеличение исходной шероховатости подложки оказывает значительное влияние (30...40 %) на высоту неровностей в последующем нанесенном покрытии;

- с возрастанием шероховатости подложки размер частиц, формирующих КПП, может стать больше на 50...70 %;

- дистанция напыления заметно влияет на высоту неровностей и размер частиц (измене-

ния составляют соответственно 18...20 % и 50...66 %);

• кривизна поверхности оказывает существенное воздействие на параметры макро-структуры покрытий (изменения могут дости-

гать 50 %). Особенно большие изменения в структуре наблюдаются, если в процессе напыления угол напыления к криволинейной поверхности меньше 50°.

Литература

- [1] Бабин С.В., Фурсов А.А., Егоров Е.Н. Исследование влияния плазменно-напыленного промежуточного слоя на адгезионную прочность соединения стеклопластик–металл. *Вестник Московского авиационного института*, 2017, т. 24, № 3, с. 195–201.
- [2] Суртаев А.С., Павленко А.Н., Калита В.И., Кузнецов Д.В., Комлев Д.И., Радюк А.А., Иванников А.Ю. Влияние капиллярно-пористых покрытий на теплообмен при кипении. *Письма в Журнал технической физики*, 2016, т. 42, № 8, с. 1–9.
- [3] Кудинов В.В., Пекшев П.Ю., Белашенко В.Е., Солоненко О.П., Сафиуллин В.А. *Нанесение покрытий плазмой*. Москва, Наука, 1990. 408 с.
- [4] Fauchais P., Fukumoto M., Vardelle A., Vardelle M. Knowledge concerning splat formation: An invited review. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2004, vol. 13, no. 3, pp. 337–360, doi: 10.1361/10599630419670
- [5] Кудинов В.В., Калита В.И., Коптева О.Г. Исследование процесса формирования макро- и микроструктуры частиц газотермических покрытий. *Физика и химия обработки материалов*, 1992, № 3, с. 88–92.
- [6] Калита В.И., Гнедовец А.Г., Комлев Д.М. Формирование пористости при плазменном напылении. *Физика и химия обработки материалов*, 2006, № 6, с. 26–31.
- [7] Солоненко О.П., Шурина Э.П., Головин А.А. Конечное-элементное моделирование соударения капли расплава с подложкой при плазменном напылении. *Физическая мезомеханика*, 2001, т. 4, № 1, с. 29–42.
- [8] Madejski J. Solidification of droplets on cold surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1976, vol. 19, iss. 9, pp. 1009–1013, doi: 10.1016/0017-9310(76)90183-6
- [9] Кравченко И.Н., Сельдяков В.В., Пузряков А.Ф. Структура никелевых покрытий, напыленных воздушным потоком плазмы. *Технология металлов*, 2014, № 6, с. 36–38.
- [10] Puzryakov A.F., Levitin S.A., Garanov V.A. Effect of spraying angle on the properties of plasma-deposited coatings. *Soviet powder metallurgy and metal ceramics*, 1986, vol. 24, № 8, pp. 631–633, doi: 10.1007/BF00791954
- [11] Бабин С.В., Фурсов А.А. Влияние шероховатости поверхности подложки и дистанции напыления на макроструктуру капиллярно-пористого покрытия из титана. *Научные труды (Вестник МАТИ)*, 2014, № 23(95), с. 95–99.
- [12] Mostaghimi J., Pasandideh-Fard M., Chandra S. Dynamics of splat formation in plasma spray coating process. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2002, vol. 22, no. 1, pp. 59–84, doi: 10.1023/A:1012940515065
- [13] Бабин С.В., Фурсов А.А. Влияние кривизны поверхности подложки на макроструктуру капиллярно-пористого покрытия из титана. *Научные труды (Вестник МАТИ)*, 2013, № 20(92), с. 46–50.
- [14] Бабин С.В., Егоров Е.Н., Карпов В.Н., Поляков О.А. Влияние режимов плазменного напыления на структуру и свойства границы «пористое титановое покрытие — сплав ВТ6». *Технология легких сплавов*, 2007, № 3, с. 119–122.
- [15] Ильин А.А., Мамонов А.М., Карпов В.Н., Балберкин А.В., Загородний Н.В., Бабин С.В., Егоров Е.Н. Пористые слоистые композиционные материалы на основе титана в эндопротезах тазобедренного сустава. *Технология легких сплавов*, 2008, № 3, с. 73–79.

References

- [1] Babin S.V., Fursov A.A., Egorov E.N. The study of intermediate plasma-sprayed layer effect on fiberglass-metal junction strength. *Aerospace MAI journal*, 2017, vol. 24, no. 3, pp. 195–201 (in Russ.).

- [2] Surtaev A.S., Pavlenko A.N., Kuznetsov D.V., Kalita V.I., Komlev D.I., Radyuk A.A., Ivannikov A.Y. The influence of three-dimensional capillary-porous coatings on heat transfer at liquid boiling. *Technical physics letters*, 2016, vol. 42, no. 4, pp. 391–394, doi: 10.1134/S106378501604026X
- [3] Kudinov V.V., Pekshev P.Yu., Belashchenko V.E., Solonenko O.P., Safiullin V.A. *Naneseniye pokrytiy plazmoy* [Plasma coating]. Moscow, Nauka publ., 1990. 408 p.
- [4] Fauchais P., Fukumoto M., Vardelle A., Vardelle M. Knowledge concerning splat formation: An invited review. *Journal of Thermal Spray Technology*, 2004, vol. 13, no. 3, pp. 337–360, doi: 10.1361/10599630419670
- [5] Kudinov V.V., Kalita V.I., Kopteva O.G. Investigation of the formation of macro- and micro-structure of particles of gas-thermal coatings. *Physics and chemistry of materials treatment*, 1992, no. 3, pp. 88–92.
- [6] Kalita V.I., Gnedovets A.G., Komlev D.M. The formation of porosity in plasma spraying. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*, 2006, no. 6, pp. 26–31 (in Russ.).
- [7] Solonenko O.P., Shurina E.P., Golovin A.A. Finite-element modeling of collision of a melt drop with a substrate during plasma spraying. *Fizicheskaya mezhmekhanika*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 29–42 (in Russ.).
- [8] Madejski J. Solidification of droplets on cold surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1976, vol. 19, iss. 9, pp. 1009–1013, doi: 10.1016/0017-9310(76)90183-6
- [9] Kravchenko I.N., Sel'dyakov V.V., Puzryakov A.F. The structure of nickel coatings sprayed with plasma air flow. *Tekhnologiya metallov*, 2014, no. 6, pp. 36–38 (in Russ.).
- [10] Puzryakov A.F., Levitin S.A., Garanov V.A. Effect of spraying angle on the properties of plasma-deposited coatings. *Soviet powder metallurgy and metal ceramics*, 1986, vol. 24, № 8, pp. 631–633, doi: 10.1007/BF00791954
- [11] Babin S.V., Fursov A.A. Influence of roughness of the surface of the substrate on the macro-structure of the capillary and porous covering from the titan. *Nauchnyye trudy (Vestnik MATI)*, 2014, no. 23(95), pp. 95–99 (in Russ.).
- [12] Mostaghimi J., Pasandideh-Fard M., Chandra S. Dynamics of splat formation in plasma spray coating process. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2002, vol. 22, no. 1, pp. 59–84, doi: 10.1023/A:1012940515065
- [13] Babin S.V., Fursov A.A. The effect of the surface curvature of the substrate on the macro-structure of a capillary-porous titanium coating. *Nauchnyye trudy (Vestnik MATI)*, 2013, no. 20(92), pp. 46–50 (in Russ.).
- [14] Babin S.V., Egorov E.N., Karpov V.N., Polyakov O.A. The influence of plasma spraying schedules on a structure and properties of the «porous titanium coating/vt6 alloy» interface. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2007, no. 3, pp. 119–122 (in Russ.).
- [15] Il'in A.A., Mamonov A.M., Karpov V.N., Balberkin A.V., Zagorodniy N.V., Babin S.V., Egorov E.N. Application of Titanium-Based Porous Lamellar Composite Materials in Hip-Joint Endoprostheses. *Tekhnologiya legkikh splavov*, 2008, no. 3, pp. 73–79 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 02.12.2019

Информация об авторах

БАБИН Сергей Васильевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология производства авиационных двигателей». Ступинский филиал МАИ (142800, Ступино, Российская Федерация, Пристанционная ул., д. 4, e-mail: bsv_sfmai@mail.ru).

ЕГОРОВ Евгений Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология производства авиационных двигателей». Ступинский филиал МАИ (142800, Ступино, Российская Федерация, Пристанционная ул., д. 4, e-mail: egoroven@mati.ru).

ФУРСОВ Андрей Александрович — старший преподаватель кафедры «Технология производства авиационных двигателей». Ступинский филиал МАИ (142800, Ступино, Российская Федерация, Пристанционная ул., д. 4, e-mail: sfmati@mail.ru).

Information about the authors

BABIN Sergey Vasilievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Technology of Aircraft Engine Production. Stupino branch of the Moscow Aviation Institute (142800, Stupino, Russian Federation, Pristantsionnaya St., Bldg. 4, e-mail: bsv_sfmai@mail.ru).

EGOROV Evgeniy Nikolaevich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Technology of Aircraft Engine Production. Stupino branch of the Moscow Aviation Institute (142800, Stupino, Russian Federation, Pristantsionnaya St., Bldg. 4, e-mail: egoroven@mati.ru).

FURSOV Andrey Aleksandrovich — Senior Lecturer, Department of Technology of Aircraft Engine Production. Stupino branch of the Moscow Aviation Institute (142800, Stupino, Russian Federation, Pristantsionnaya St., Bldg. 4, e-mail: sfmati@mail.ru).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Бабин С.В., Егоров Е.Н., Фурсов А.А. Влияние технологических параметров процесса плазменного напыления на макроструктуру титановых покрытий. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 4, с. 44–53, doi: 10.18698/0536-1044-2020-4-44-53

Please cite this article in English as:

Babin S.V., Egorov E.N., Fursov A.A. The Influence of Technological Parameters of the Plasma Spraying Process on the Macrostructure of Titanium Coatings. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2020, no. 4, pp. 44–53, doi: 10.18698/0536-1044-2020-4-44-53



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие

«Тактическая подготовка»

**Авторы: В.А. Власов, А.П. Дудь, И.В. Иванюк,
В.В. Истомин, В.А. Кузнецов, Е.А. Шекунов**

Изложены основы тактической подготовки общевойсковых подразделений и их всестороннего обеспечения, вопросы военной топографии.

Для студентов, обучающихся по программам подготовки офицеров запаса и кадра.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru