

## ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

*Рощин М.Н.<sup>1</sup>, Мишанова В.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия;*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт, филиал Ступино, Ступино, Россия*

**Ключевые слова:** лазер, наплавка, металлокерамические покрытия, температура, плотность мощности, время, теплофизические параметры.

**Аннотация.** Разработан методический подход наплавки износостойкого композиционного покрытия ПГСР4+10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на титановый сплав ВТ6. Проведен численный анализ нагрева и плавления износостойкого композиционного покрытия. Приведена зависимость времени оплавления композиционного покрытия в зависимости от плотности мощности теплового потока. Результаты исследований используются при разработке технологических процессов наплавки металлокерамических покрытий.

## COATING TO INCREASE THE WEAR RESISTANCE OF TITANIUM ALLOYS

*Roshchin M.N.<sup>1</sup>, Mishanova V.G.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia;*

<sup>2</sup>*Moscow aviation Institute, Stupino branch, Stupino, Russia*

**Keywords:** laser, surfacing, metal-ceramic coatings, temperature, power density, time, thermal parameters.

**Abstract.** A methodical approach has been developed for surfacing a wear-resistant composite coating of PGSR4+10%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on a titanium alloy VT6. Numerical analysis of heating and melting of a wear-resistant composite coating is carried out. The dependence of the melting time of the composite coating on the power density of the heat flux is given. The results of the research are used in the development of technological processes for surfacing metal-ceramic coatings.

### Введение

Титановые сплавы являются основным конструкционным материалом, которые широко используются в аэрокосмической промышленности, а также иных транспортных средствах. Титановые сплавы обладают следующими преимуществами: низкой плотностью, высокой удельной прочностью, хорошей коррозионной стойкостью, в то время его низкая износостойкость ограничивает широкое применение в подвижных соединениях. В настоящее время существует множество технологий поверхностного упрочнения титановых сплавов. Повысить износостойкость поверхности образцов из титановых сплавов можно при помощи термической обработки и нанесения покрытий. Наносимые покрытия должны обладать высокой адгезией к материалу основы и обеспечивать эффективную пассивацию поверхности детали. Для повышения износостойкости титановых сплавов применяются различные методы модификации поверхности трения [1, 2]. Для снижения

коэффициента трения узла при работе в экстремальных условиях необходимы новые антифрикционные и износостойкие покрытия. Пара трения должна иметь низкий коэффициент трения и возможность воспринимать повышенную удельную нагрузку. Для создания износостойких поверхностей трения применяются технологии с лазерной наплавкой металлокерамических покрытий. При лазерной наплавке износостойких покрытий используется технологический процесс оплавления плазменных порошковых покрытий. При создании износостойких металлокерамических покрытий в структуру покрытия вносят твердые добавки в виде оксидов, карбидов, боридов [3]. При этом необходимо знать распределение температуры по глубине покрытия, чтобы в процессе нагрева и плавления материала покрытия сохранить упрочняющие твердые износостойкие фракции [4].

**Цель работы:** исследовать процесс лазерной наплавки износостойких покрытий на титановый сплав ВТ6.

**Материалы и оборудование.** Лазерная наплавка проводилась на титановый сплав ВТ6. Для создания износостойкого покрытия была использована механическая смесь порошка ПГСР4 и 10% упрочняющей добавки  $Al_2O_3$ . На поверхность детали из титанового сплава ВТ6 наносилось порошковое покрытие с использованием оптимизированного процесса плазменного напыления. Порошковые композиции состояли из пластичной матрицы системы NiCrBSi (порошок ПГСР4 состава, %: С-0,6...1,0; В-2,0...2,8; Si-2,5...3,5; Cr-13,5...16,5; Fe-не более 5,0; Ni-основа) и мелкодисперсной упрочняющей фракции (5...20 мкм) окиси алюминия  $Al_2O_3$ . Толщина покрытия при плазменном напылении составляла 0.8 мм. Концентрация упрочняющей фракции  $Al_2O_3$  составляла 11% (весовых). Лазерная наплавка износостойких покрытий осуществлялась на оборудовании, разработанном в ИМАШ РАН на лазерном технологическом комплексе ЛТК-01, с использованием технологической оснастки. После чистовой обработки толщина покрытия составляла 0.4-0.5 мм

**Результаты и обсуждения.** Технологические режимы лазерной наплавки износостойких металлокерамических покрытий разрабатывалась на основе физико-математического моделирования процессов плазменного нанесения и лазерного оплавления покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры. Для разработки технологического процесса оплавления металлокерамических покрытий проведен численный анализ нагрева и плавления двухслойного полуограниченного тела, с граничными условиями Стефана. По результатам расчета были определены технологические параметры лазерной наплавки. Время оплавления износостойкого покрытия по глубине при плотности мощности теплового потока  $(2...7) \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> приведено на рисунке 1.

Композиционное покрытие начнет плавиться когда температура на поверхности достигнет 1080°C, при плотности мощности теплового потока  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> время воздействия теплового потока составит 0.175 с для покрытия ПГСР4+10%  $Al_2O_3$ . При времени воздействия 0.985с покрытие

расплавится на глубину 0.8мм. При достижении температуры 1670°С, температуры начала плавления основы на глубине покрытия 0.8 мм, покрытие приплавится к основе – время составит 1.485 с, температура на поверхности при этом составит 2285°С. Покрытие считается приплавленным к основе, когда температура подложки (основы) достигнет температуры плавления. Температура в покрытии в процессе оплавления не должна превышать температуру разложения упрочняющих фракций  $Al_2O_3$ .

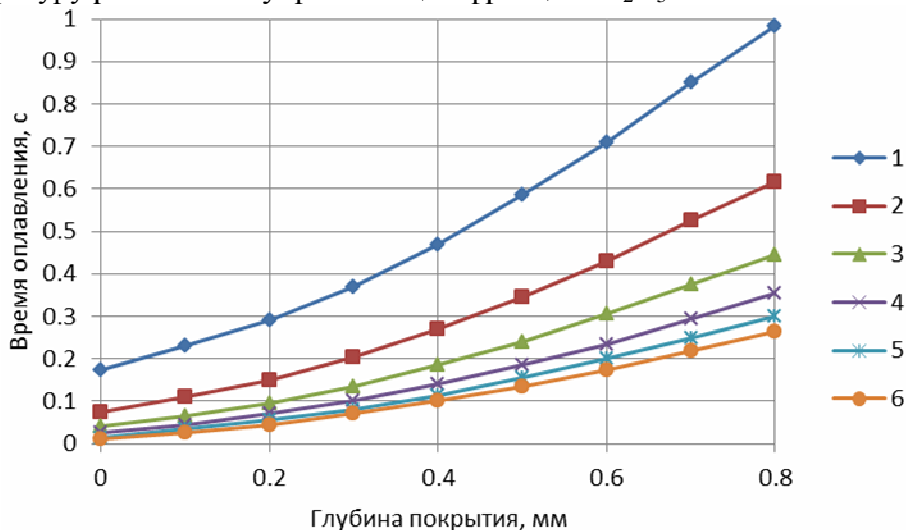


Рис. 1. Время оплавления покрытия ПГСР4+10% $Al_2O_3$  по глубине при плотности мощности  $I=I_0 * 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>: 1 –  $I_0=2$ , 2 –  $I_0=3$ , 3 –  $I_0=4$ , 4 –  $I_0=5$ , 5 –  $I_0=6$ , 6 –  $I_0=7$

### Выводы

Разработан методический подход наплавки износостойкого композиционного покрытия ПГСР4+10% $Al_2O_3$  на титановый сплав ВТ6. Проведен численный анализ нагрева и плавления износостойкого композиционного покрытия. Приведена зависимость времени оплавления композиционного покрытия в зависимости от плотности мощности теплового потока. Результаты исследований используются при разработке технологических процессов наплавки металлокерамических покрытий.

### Список литературы

1. Ахмадеев Ю.Х., Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. и др. Азотирование титана ВТ1 -0 в несамостоятельном тлеющем разряде низкого давления в различных газовых средах // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2008. – №2. – С. 108-112.
2. Бекренев А.Н., Филина Е.А. Влияние лазерного легирования на изменение физико-механических свойств поверхностных слоёв титана // ФХОМ. – 1991. – № 4. – С. 116-121.
3. Алисин В.В., Владиславлев А.А., Роцин М.Н. Физическая модель процесса плавления износостойких плазменных покрытий лазером // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2008. – №11. – С. 17-23.

4. Алисин В.В., Рошин М.Н. Численный анализ тепловых потоков в процессе плавления покрытий лазером // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2019. – № 4. – С. 93-101.

### References

1. Akhmadeev Yu.Kh., Ivanov Yu.F., Koval N.N. et al. Nitriding of titanium VT1-0 in an independent low-pressure glow discharge in various gaseous media // Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies. – 2008. – No. 2. – P.108-112.
2. Bekrenev A.N., Filina E.A. The effect of laser alloying on the change of physical and mechanical properties of titanium surface layers // FKHOM. – 1991. – No. 4. – P. 116-121.
3. Alisin V.V., Vladislavlev A.A., Roshchin M.N. Physical model of the melting process of wear-resistant plasma coatings by laser // Friction and lubrication in machines and mechanisms. – 2008. – No. 11. – P. 17-23.
4. Alisin V.V., Roshchin M.N. Numerical analysis of heat fluxes in the process of melting coatings by laser // Problems of mechanical engineering and machine reliability. – 2019. – No. 4. – P. 93-101.

<b>Рошин Михаил Николаевич</b> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	<b>Roshchin Mikhail Nikolaevich</b> – candidate of technical sciences, leading researcher
<b>Мишанова Валентина Георгиевна</b> – кандидат технических наук, доцент	<b>Mishanova Valentina Georgievna</b> – candidate of technical sciences, associate professor
Roschin50@yandex.ru	

*Received 03.04.2022*