

## НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

**Рощин М.Н.**

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва*

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

**Аннотация.** На основе математического моделирования произведена наплавка износостойких композиционных покрытий ПГСП4+11%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ПГСП4+20%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 и концентрации упрочняющей фазы.

## SURFACING OF WEAR-RESISTANT COATINGS ON THE FRICTION SURFACE OF TITANIUM ALLOY PARTS

**Roshchin M.N.**

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow*

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

**Abstract.** Based on mathematical modeling, wear-resistant composite coatings PGSR4+11%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and PGSR4+20%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were surfaced on 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 heat flux power density and the concentration of the hardening phase is given.

### Введение

Широкое применение титановых сплавов в качестве конструкционных материалов различного назначения объясняется теми преимуществами, которыми обладают титан и его сплавы по сравнению с другими материалами.

Конструкционные материалы на основе титана с успехом применяются в различных отраслях машиностроения, в аэрокосмической промышленности, в судостроении, а также в производстве двигателей для них. 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 [1]. Современные технологии поверхностного упрочнения титановых сплавов позволяют создавать узлы трения с применением титановых сплавов. Повысить износостойкость поверхности 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. Модификация поверхности трения титановых сплавов дает положительные результаты в повышении износостойкости [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 лазерной наплавке 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 с различными концентрациями упрочняющей добавки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Материалы и оборудование.** Лазерная наплавка проводилась на титановый сплав ВТ6. Для создания износостойкого покрытия была использована механическая смесь порошка ПГСР4 (ГОСТ 21448-75) и добавка мелкодисперсной фракции окиси алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5...20 мкм) в количестве 11 и 20% (весовых). На поверхность трения детали из титанового сплава ВТ6 наносилось порошковое покрытие с использованием оптимизированного процесса плазменного напыления. Толщина покрытия при плазменном напылении составляла 0,6 мм. 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 0,3-0,4 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 ПГСР4+11% $\text{Al}_2\text{O}_3$  и ПГСР4+20% $\text{Al}_2\text{O}_3$  по глубине при плотности мощности теплового потока  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> приведено на рисунке 1.

Композиционное покрытие начнет плавиться когда температура на поверхности достигнет 1080 °С. При плотности мощности теплового потока  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> для покрытия ПГСР4+11% $\text{Al}_2\text{O}_3$  время составит 0,18 с, а для покрытия ПГСР4+20% $\text{Al}_2\text{O}_3$  время составит 0,195 с. Покрытие ПГСР4+11% $\text{Al}_2\text{O}_3$  расплавится на глубину 0,6 мм за время 0,69 с, а покрытие ПГСР4+20% $\text{Al}_2\text{O}_3$  расплавится на глубину 0,6 мм за время 0,8 с. При достижении температуры на границе раздела покрытие-основа 1670°С, покрытие приплавится к основе. Температура в покрытии в процессе оплавления не должна превышать температуру разложения упрочняющих фракций  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

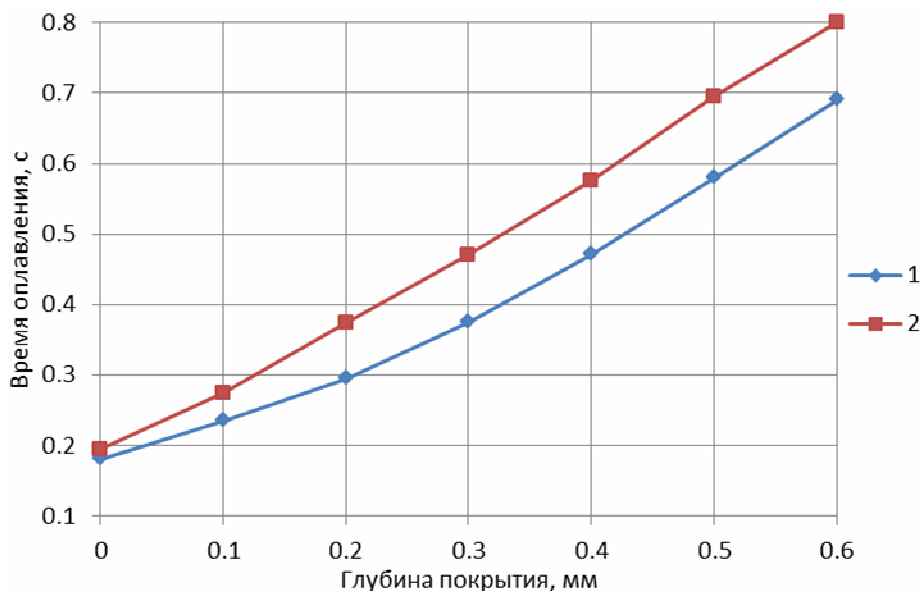


Рис. 1. Время оплавления по глубине при плотности мощности  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> покрытия: 1- ПГСП4+11%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2- ПГСП4+20%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Выводы

На основе математического моделирования произведена наплавка износостойких композиционных покрытий ПГСП4+11%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ПГСП4+20%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 и концентрации упрочняющей фазы. Результаты исследований используются при разработке технологических процессов наплавки металлокерамических покрытий.

### Список литературы

1. Путьрский С.В., Арисланов А.А., Артеменко Н.И., Яковлев А.Л. Различные методы повышения износостойкости титановых сплавов и сравнительный анализ их эффективности применительно к титановому сплаву ВТ23М // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – №1(50). – С. 19-24.
2. Овчинников В.В., Учеваткина Н.В., Жданович О.А., Сбитнев А.Г. Комбинированная технология повышения износостойкости деталей из титанового сплава ВТ6 на основе ионной имплантации // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – №6. – С. 15-22.
3. Алисин В.В., Владиславлев А.А., Рошин 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.

### Сведения об авторе:

Рошин Михаил Николаевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник.