

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОКРЫТИИ С ЧАСТИЦАМИ ДВУОКИСИ ЦИРКОНИЯ НА ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ

*Рошин М.Н.<sup>1</sup>, Маркачев Н.А.<sup>2</sup>, Мишанова В.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва;*

<sup>2</sup>*Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина», Химки, Московская область;*

<sup>3</sup>*Московский авиационный институт, филиал в г. Ступино*

**Ключевые слова:** лазерная наплавка, металлокерамическое покрытие, тепловой поток, титановый сплав, порошок, температура.

**Аннотация.** Разработана методология наплавки износостойкого покрытия на титановый сплав ВТ6 на основе численного анализа нагрева и плавления износостойкого композиционного покрытия ПГСР4 и добавкой 20% упрочняющей мелкодисперсной фракции  $ZrO_2$ , предназначенного для тяжело нагруженных узлов трения. Приведено распределение температуры в момент расплавления и в момент приплавления металлокерамического покрытия к основе при плотности мощности теплового потока  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>.

## TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A COATING WITH ZIRCONIUM DIOXIDE PARTICLES ON A TITANIUM ALLOY DURING LASER SURFACING

*Roshchin M.N.<sup>1</sup>, Markachev N.A.<sup>2</sup>, Mishanova V.G.<sup>3</sup>*

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

<sup>2</sup>*Joint Stock Company "Scientific and Production Association n.a. S.A. Lavochkin", Khimki, Moscow region;*

<sup>3</sup>*Moscow aviation Institute, Stupino branch*

**Keywords:** laser surfacing, cermet coating, heat flux, titanium alloy, powder, temperature.

**Abstract.** A methodology has been developed for surfacing a wear-resistant coating on a titanium alloy VT6 based on numerical analysis of heating and melting of a wear-resistant composite coating PGSR4 and the addition of a 20% hardening fine fraction  $ZrO_2$ , designed for heavily loaded friction units. The temperature distribution at the time of melting and at the time of melting of the metal-ceramic coating to the base at a heat flux power density of  $2 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup> is given.

### Введение

К современной технике предъявляют высокие требования к надежности как эксплуатируемых конструкций и оборудования, так и к применяемым материалам. Ресурс эксплуатации деталей в условиях трения обеспечивают технологическими методами обработки, формирующие состояние поверхностного слоя деталей [1]. Наилучший результат повышения износостойкости пар трения достигается при создании на поверхности износостойких покрытий. Износостойкие покрытия, наплавленные лазером, показывают хорошие трибологические свойства, как для работы в

тяжелонагруженных узлах трения, а также для восстановления изношенных поверхностей трения. Локальное воздействие на поверхность концентрированного потока высокой плотности позволяет получать недостижимые при традиционных способах обработки свойства материала. Это связано с целенаправленным изменением химического состава и структурно-фазового состояния поверхностных слоев [2]. Механические свойства наплавленного лазером покрытия зависят от формирующейся структуры покрытия, которая полностью определяется распределением температуры по толщине покрытия [3]. Использование титановых сплавов в узлах трения сдерживается их низким сопротивлением изнашиванию.

**Цель работы:** исследовать распределение температуры в покрытии с частицами двуокиси циркония на титановом сплаве ВТ6 при лазерной наплавке.

**Материалы и оборудование.** Отрабатывалась методология лазерной наплавки покрытия с частицами двуокиси циркония на титановом сплаве ВТ6. Предварительно на поверхность детали из ВТ6 наносилось газотермическое порошковое покрытие с последующим лазерным оплавлением. При газотермическом напылении была использована механическая смесь порошка ПГСР4 и 20% мелкодисперсной (5...20 мкм) упрочняющей добавки  $ZrO_2$ . Толщина покрытия при плазменном напылении составляла 0,6-0,7 мм. Лазерное оплавление износостойкого покрытия осуществлялась на оборудовании, разработанном в ИМАШ РАН на лазерном технологическом комплексе ЛТК-01, с использованием технологической оснастки. Используя, математический аппарат физико-математического моделирования процесса лазерного оплавления покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры, была разработана технология создания износостойкого композиционного покрытия.

### **Результаты трибологических исследований**

Расчет теплофизических параметров композитного покрытия производился по методике [3]. Для разработки технологического процесса оплавления металлокерамических покрытий проведен численный анализ нагрева и плавления двухслойного полуограниченного тела, с граничными условиями Стефана [4]. По результатам расчета были определены технологические параметры лазерной наплавки. Распределение температуры в покрытии в момент расплавления и в момент приплавления металлокерамического покрытия к основе приведено на рисунке 1. Покрытие считается приплавленным к основе, когда температура основы достигнет температуры плавления ( $1670^{\circ}C$ ).

При тепловом потоке плотности мощности  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> температура на поверхности в момент оплавления покрытия составляет  $1524^{\circ}C$ , а в момент приплавления покрытия к основе температура на поверхности составляет  $2258^{\circ}C$ . Температура в покрытии в процессе оплавления не превышает температуру разложения упрочняющей фракции  $ZrO_2$  ( $2715^{\circ}C$ ).

### **Выводы**

Разработана методология создания покрытия на основе численного анализа нагрева и плавления, износостойкого композиционного покрытия ПГСР4+20%  $ZrO_2$ , предназначенного для тяжелонагруженных узлов трения. Приведено

распределение температуры в момент расплавления и в момент приплавления металлокерамического покрытия к основе при плотности мощности теплового потока  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>. На основании проведенных исследований разрабатывается технологический процесс наплавки металлокерамического покрытия. Результаты могут быть использованы при оплавлении порошковых композиций в лазерных аддитивных технологиях.

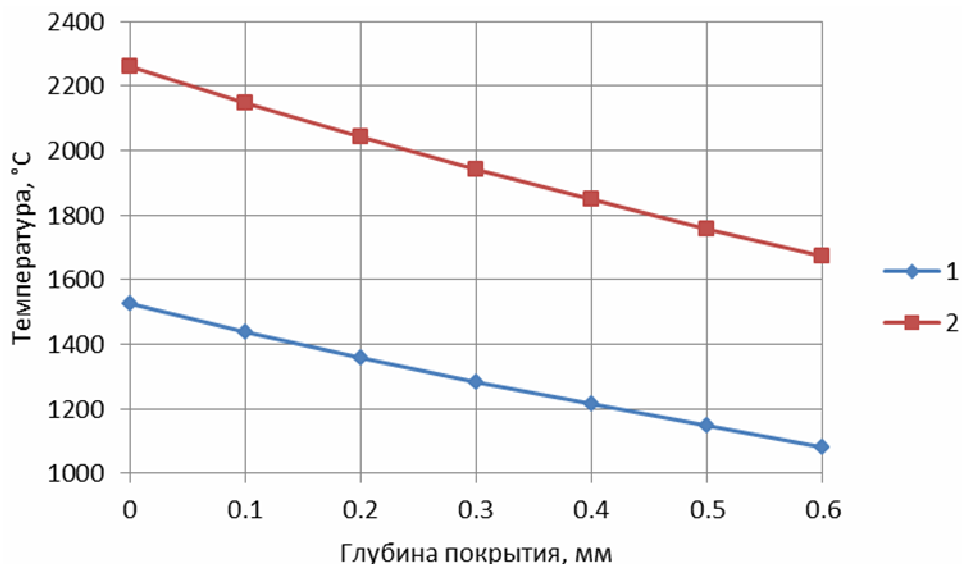


Рис. 1. Зависимость температуры по глубине покрытия ПГСП4+20%ZrO<sub>2</sub>, на ВТ6 при плотности мощности  $2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> в момент: 1 – оплавления, 2 – приплавления к основе

#### Список литературы

1. Яковлев А.Л., Ночовная Н.А. Влияние термической обработки на свойства листов из высокопрочного титанового сплава ВТ23М // *Авиационные материалы и технологии*. – 2013. – №4 (29). – С. 8-13.
2. Алисин В.В., Владиславлев А.А., Рошин М.Н. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой // *Перспективные материалы и технологии. Наноконпозиты (Росмический вызов 21 век, Том 2)*. Под. ред. А.А. Берлина и И.Г. Ассовского. – М.: Торус Пресс, 2005. – С. 59-68.
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 авторах:

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

*Маркачев Николай Александрович* – к.т.н., ведущий конструктор;

*Мишанова Валентина Георгиевна* – к.т.н., доцент.