

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2021-12-7-10>

## ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ С ДОБАВКАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ДИБОРИДА ЦИРКОНИЯ

*Рощин М.Н., Мишанова В.Г.*

**Ключевые слова:** время, температура плавления, покрытие, плазма, лазер, математическое моделирование.

**Аннотация.** В работе проведен численный анализ нагрева и плавления износостойкого композиционного покрытия системы Ni-Cr-B-Si с упрочняющими мелкодисперсными фазами оксида алюминия и диборида циркония, предназначенного для тяжело нагруженных узлов трения. Определены значения теплового потока, обеспечивающие качественное оплавление композиционного металлочерamicкого покрытия и сохранение упрочняющих износостойких фракций.

## FEATURES OF LASER REFLOW OF WEAR-RESISTANT COATINGS WITH ADDITIVES OF ALUMINUM OXIDE AND ZIRCONIUM DIBORIDE

*Roshchin M.N., Mishanova V.G.*

**Keywords:** time, melting point, coating, plasma, laser, mathematical modeling.

**Abstract.** The paper presents a numerical analysis of the heating and melting of a wear-resistant composite coating of the Ni-Cr-B-Si system with strengthening fine-dispersed phases of aluminum oxide and zirconium diboride intended for heavy-loaded friction units. The values of the heat flow that ensure high-quality melting of the composite metal-ceramic coating and the preservation of strengthening wear-resistant fractions are determined.

Для повышения трибологические характеристики узлов и агрегатов машин, работающих в экстремальных условиях по нагрузкам, температурам и скоростям скольжения выявили необходимость повышения качества покрытий. Промышленная апробация лазерной технологии наплавки [1] показала, что для обеспечения качества покрытий необходим детальный анализа распределения тепловых потоков в зоне взаимодействия лазерного луча с поверхностью. Интерес к проблеме повышения качества покрытия при лазерной наплавке в настоящее время резко повысился. Для улучшения качества наплавляемого материала применяют переплав поверхностного слоя, который позволяет исправить дефекты наплавленных слоев в виде пор, дефекты от неоднородности гранулометрического состава порошка, нарушения структуры от перегрева расплавленного металла и взрыва мелких фракций порошка [2]. Дефекты устраняются выбором технологических параметров лазерной обработки, для оптимизации которых применяют методы моделирования процесса [3]. Для экспериментальной проверки математической модели процесса оплавления покрытия на поверхность образца из стали 30ХГСА методом сверхзвукового плазменного напыления было нанесено порошковое покрытие [4]. Важным преимуществом плазменного нанесения покрытий является возможность нанесения

практически любых материалов и композиций, при высокой производительности процесса и коэффициенте использования материалов. Для повышения износостойкости покрытий в его состав добавляют твердые износостойкие фракции, которые обеспечивают равномерное распределение нагрузки (правило Шарпи). При определенных условиях это обеспечивает хорошую прирабатываемость материала к форме сопряженного вала и высокую несущую способность [5].

Цель работы – исследование распределения температуры по глубине покрытия из пластичной матрицы системы Ni-Cr-B-Si с добавками оксида алюминия и диборида циркония.

Процесс создания износостойких металлокерамических покрытий разрабатывалась на основе физико-математического моделирования процессов плазменного нанесения и лазерного оплавления покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры. Предварительно для нанесения порошковых композиций использовался оптимизированный процесс плазменного напыления. Порошковые композиции состояли из пластичной матрицы системы Ni-Cr-B-Si (порошок ПГСП4, состава, %: С-0,6...1,0; В-2,8...3,4; Si-4...4,5; Cr-14...20; Fe-34; Ni-основа). Толщина покрытия составляла 0,6 мм, покрытие наносилось на сталь 30ХГСА. В качестве упрочняющей фазы использовались порошок – оксид алюминия  $Al_2O_3$  и диборид циркония  $ZrB_2$ , фракции 5...20 мкм. Концентрация упрочняющей фазы составляла 20% (весовых). Расчет теплофизических параметров комбинированного покрытия производился по методике [4]. В результате численного анализ нагрева и плавления двухслойного полуограниченного тела, с граничными условиями Стефана получено распределение температурных полей по глубине покрытия с учетом теплоты его плавления. На рис. 1 приведено распределение температуры по глубине покрытия ПГСП4 с добавками 20%  $Al_2O_3$  и 20%  $ZrB_2$  при плотности мощности  $3 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> в момент достижения температуры плавления основы. Важной особенностью оплавления комбинированных покрытия является сохранения упрочняющих износостойких керамических фракций в покрытии. Гидродинамические эффекты, возникающие в жидкой ванне расплава, обеспечивают равномерное перемешивание расплава матрицы системы Ni-Cr-B-Si и упрочняющих износостойких добавок. Скоротечность процесса оплавления не способствует всплытию упрочняющих добавок в силу их меньшего удельного веса. Температура на начальной стадии оплавления покрытия ПГСП4+20%  $Al_2O_3$  ниже из-за более низкого коэффициента температуропроводности композиционного материала покрытия. С увеличением глубины проплавления разница температур в покрытии из материалов ПГСП4+20%  $Al_2O_3$  и ПГСП4+20%  $ZrB_2$  уменьшается. Температура в покрытии не должна превышать температуру плавления упрочняющих добавок. Покрытие считается приплавленным к основе, когда температура подложки достигнет температуры плавления 1535°C.

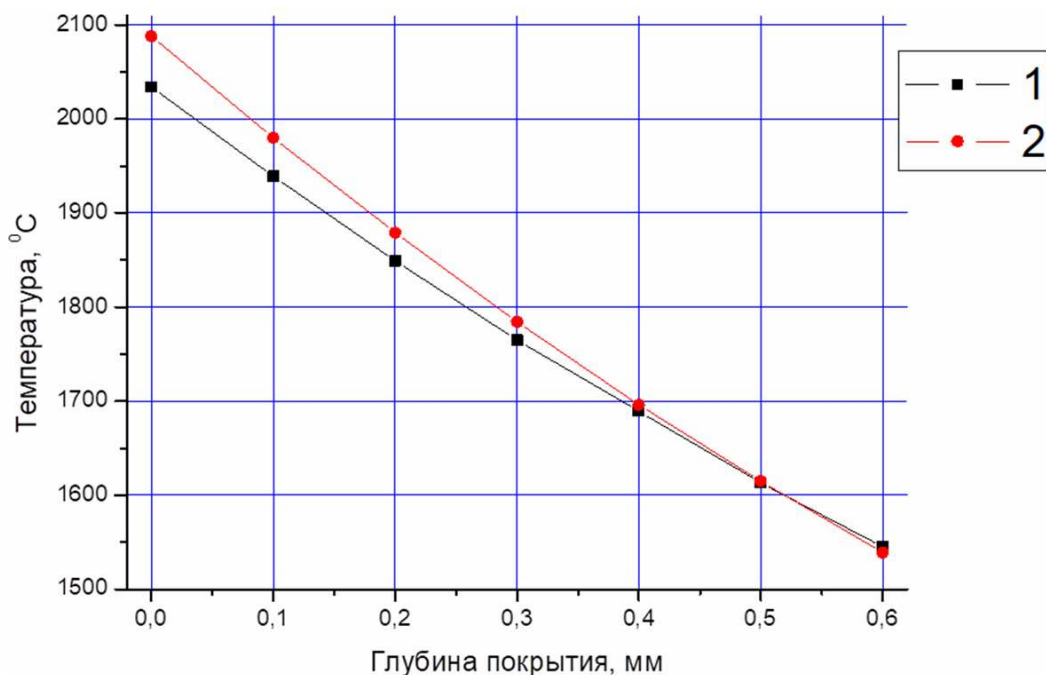


Рис. 1. Распределение температуры по глубине при плотности мощности  $10^7 \text{ Вт/м}^2$  в момент проплавления покрытия ПГСП4:  
1-+20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2- +20%  $\text{ZrB}_2$

### Выводы

Проведен численный анализ нагрева и плавления износостойкого композиционного покрытия системы Ni-Cr-B-Si с упрочняющей мелкодисперсной фазой оксида алюминия и диборида циркония, предназначенных для тяжело нагруженных узлов трения. Определены значения теплового потока, обеспечивающие качественное оплавление композиционного металлокерамического покрытия и сохранение упрочняющих износостойких фракций.

### Список литературы

1. Алисин В.В., Владиславлев А.А., Рошин М.Н. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой // Перспективные материалы и технологии. Нанокompозиты (космический вызов 21 век, Том 2). – М.: Торус Пресс, 2005. – С. 59-68.
2. Ананьев А.И., Шибалов М.В., Курков А.А. и др. Исследование микроструктуры и свойств хромоникелевой стали 316L полученной методом селективного лазерного оплавления // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2017. № 4. С. 54-58.
3. Hodge N.E., Ferencz R.M., Solberg J.M. Implementation of a thermomechanical model for t simulation of selective laser melting // Comput. Mech. 2014. Vol. 54, No. 1. P. 33-51.

4. 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.
5. Хрущев М.М., Курицина А.Д. Исследование изменений в строении рабочей поверхности баббита в процессе трения и изнашивания // Трение и износ в машинах. – М.-Л.: АН СССР, 1950. Т.5. С. 76-82.

### References

1. Alisin V.V. Vladislavlev A.A., Roshchin M.N. Technology for obtaining wear-resistant metal-ceramic coatings with an ultrafine hardening phase // Coll. Perspective materials and technologies. Nanocomposites, (Space challenge of the 21st Century, Volume 2) / Edited by A.A. Berlin and I.G. Assovsky. – М.: Torus Press, 2005. – P. 59-68.
2. Ananyev A.I., Shibalov M.V., Kurkov A.A., etc. Investigation of the microstructure and properties of chromium-nickel steel 316L obtained by selective laser reflow // Bulletin of the S.A. Lavochkin NGO. 2017. No. 4. P.54-58.
3. Hodge N.E., Ferencz R.M., Solberg J.M. Implementation of a thermomechanical model for t simulation of selective laser melting // Comput. Mech. 2014. Vol. 54, No. 1. P. 33-51.
4. 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.
5. Khrushchev M.M., Kuritsin A.D. Investigation of changes in the structure of the working surface of the babbitt in the process of friction and wear // Friction and wear in machines. – М.-L.: AN USSR, 1950. Vol. 5. P. 76-82.

<p><b>Рошин Михаил Николаевич</b> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия, г. Москва, Roschin50@yandex.ru</p>	<p><b>Roshchin Mikhail Nikolaevich</b> – candidate of technical Sciences, leading researcher, Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Roschin50@yandex.ru</p>
<p><b>Мишанова Валентина Георгиевна</b> – кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), филиал Ступино, Россия, г.Ступино, mishanova56@mail.ru</p>	<p><b>Mishanova Valentina Georgievna</b> – candidate of technical sciences, docent, Moscow aviation Institute (national research University), Stupino branch, Russia, Stupino, mishanova56@mail.ru</p>

Received 02.03.2021