

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2021-14-17-20>

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОКРЫТИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ФРОНТА ПЛАВЛЕНИЯ ПО ВРЕМЕНИ

Роцин М.Н.

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

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния мощности лазерного излучения на время оплавления металлокерамического покрытия, с учетом его теплофизических параметров с упрочняющей фазой ZrO_2 . Приведено распределение температуры по толщине покрытия и показано движение фронта плавления по толщине покрытия в зависимости от времени воздействия теплового потока. Определено время воздействия теплового потока мощностью $2 \cdot 10^7$ Вт/м² для обеспечения приплавки покрытия к основе. На основании проведенных исследований разрабатывается технологический процесс наплавки металлокерамических покрытий.

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE COATING DURING THE MOVEMENT OF THE MELTING FRONT OVER TIME

Roshchin M.N.

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

Abstract. The work is devoted to the study of the effect of laser radiation power on the melting time of a metal-ceramic coating, taking into account its thermophysical parameters with the hardening phase ZrO_2 . The temperature distribution over the thickness of the coating is given and the movement of the melting front along the thickness of the coating is shown depending on the time of exposure to the heat flow. The time of exposure to a heat flow with a power of $2 \cdot 10^7$ W /m² was determined to ensure the melting of the coating to the base. Based on the conducted research, the technological process of surfacing metal-ceramic coatings is being developed.

Введение. Для упрочнения и восстановления поверхностей трения широко используются технологии с применением лазеров. Воздействие концентрированного лазерного излучения на поверхность детали приводит к быстрому ее нагреву и плавлению. Концентрация мощной энергии в пятне сфокусированного луча на поверхности материала позволяет получать высокую плотность теплового потока, необходимую для интенсивного нагрева или локального расплавления. Локальность воздействия позволяют производить обработку только поверхностного участка материала без нагрева остального объема и нарушения его структуры и свойств. Процесс лазерной наплавки относится к высокотемпературным технологическим процессам. При воздействии мощного лазерного излучения на поверхность детали приводит к быстроизменяющимся процессам: неравномерность распределения температуры по толщине материала и по времени; высокие скорости локального нагрева; наличие сложных гидродинамических эффектов в ванне расплава. При лазерной наплавке износостойких покрытий используется технологический процесс оплавления плазменных порошковых покрытий [1]. Технологический процесс лазерного оплавления покрытий

накладывает определенные ограничения на используемые материалы, как по толщине, так и по теплофизическим свойствам. При создании износостойких металлокерамических покрытий для тяжело нагруженных узлов трения композиционный материал покрытия должен иметь пластическую матрицу, мелкое зерно, высокую твердость мелкодисперсную упрочняющую фазу, при оптимальной ее концентрации. В качестве пластичной матрицы используется сплав на основе никеля или кобальта, твердые растворы и др., а так же композиции на их основе. Высокой пластичностью обладает матрица на основе кобальта. Перспективным композиционным материалом, для тяжело нагруженных трибосопряжений является использование в качестве пластичной матрицы эвтектических сплавов системы Ni-Cr-B-Si. Изучение физических процессов, происходящих в процессе нагрева и плавления материала покрытия, позволяет правильно выбрать технологические параметры при оплавлении. Регулирование параметров технологического процесса при лазерной обработке и составом обрабатываемых материалов в широком интервале их теплофизических свойств позволяет получать качественно новые свойства наплавленных покрытий. Распространение тепловых полей при нагреве в материале и его плавлении дает возможность управлять технологическими параметрами. При создании износостойких металлокерамических покрытий с добавкой в структуру покрытия твердых добавок в виде оксидов, карбидов, боридов необходимо знать распределение температуры по глубине покрытия при нагреве и плавлении [2]. На процесс распространения температуры влияют следующие факторы: плотность теплового потока на поверхности, время его воздействия, теплофизические параметры обрабатываемого материала.

Цель работы: определить в покрытии Ni-Cr-B-Si с упрочняющей фракцией окиси циркония ZrO_2 распределение температуры при заданных технологических параметрах обработки – плотности мощности теплового источника, теплофизических свойств материалов.

Материалы и оборудование. Лазерная наплавка проводилась на сталь 30ХГСА со следующими теплофизическими свойствами $\lambda=37$ Вт/(м*°C); $\alpha=9,4*10^{-6}$ м²/с; $c = 504$ Дж/(кг*°C), материал покрытия ПГ-10Н-01+20% ZrO_2 , где λ – теплопроводность, α – температуропроводность, c – удельная теплоемкость.

Для предварительного нанесения порошковых композиций использовался оптимизированный процесс плазменного напыления. Порошковые композиции состояли из пластичной матрицы системы Ni-Cr-B-Si (порошок ПГ-10Н-01 ГОСТ 28377-89 состава, %: С-0,6...1,0; В-2,8...3,4; Si-4...4,5; Cr-14...20; Fe-4...4,5; Ni-основа). Толщина покрытия составляла 0,6 мм, покрытие наносилось на сталь 30ХГСА плазменным способом. В качестве упрочняющей фазы использовался порошок – оксид циркония ZrO_2 , фракции 5...20 мкм. Концентрация упрочняющей фазы составляла 20% (весовых). Лазерная наплавка износостойких покрытий осуществлялась на

оборудовании, разработанном в ИМАШ РАН на лазерном технологическом комплексе ЛТК-01, с использованием технологической оснастки.

Результаты и обсуждения. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий разрабатывалась на основе физико-математического моделирования процессов плазменного нанесения и лазерного оплавления покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры. 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. По результатам расчета были определены технологические параметры лазерной наплавки. В зависимости от времени воздействия теплового потока и плотности мощности $2 \cdot 10^7$ Вт/м² получено распределение температуры по толщине композитного покрытия. Результаты расчетов приведены на рисунке 1.

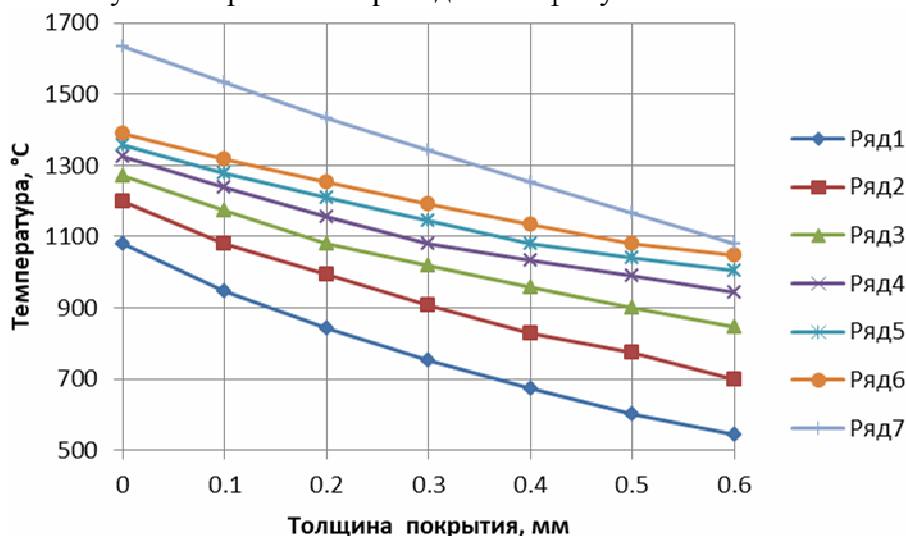


Рис. 1. Распределение температуры по толщине покрытия ПГ-10Н-01+20%ZrO₂ при плотности мощности $2 \cdot 10^7$ Вт/м² от времени воздействия, с: 1-0.125; 2-0.16; 3-0.21; 4-0.275; 5-0.35; 6-0.435; 7-0.605

Покрытие начнет плавиться когда температура на поверхности достигнет 1080°C, при этом время воздействия теплового потока составит 0.125с. Покрытие расплавится на глубину 0.1 мм через 0.16 с и т.д. При достижении температуры 1535°C, температуры начала плавления основы на глубине покрытия 0.6мм, покрытие приплавится к основе – время составит 0.75с. Покрытие считается приплавленным к основе, когда температура подложки (основы) достигнет температуры плавления. Температура в покрытии в процессе оплавления не должна превышать температуру разложения упрочняющей фазы ZrO₂.

Выводы

Проведен численный анализ нагрева и плавления, износостойкого композиционного покрытия эвтектического сплава системы Ni-Cr-B-Si и упрочняющей мелкодисперсной фазы оксида циркония, предназначенного для тяжело нагруженных трибосопряжений. Приведено распределение температуры по толщине покрытия и показано движение фронта плавления по толщине покрытия в зависимости от времени воздействия теплового потока. Определено время воздействия теплового потока мощностью $2 \cdot 10^7$ Вт/м² для обеспечения приплавания покрытия к основе. На основании проведенных исследований разрабатывается технологический процесс наплавки металлокерамических покрытий. Результаты могут быть использованы при оплавлении поверхности в лазерных аддитивных технологиях.

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. Нанокomпозиты, (космический вызов 21 век, Том 2). Под. ред. А.А. Берлина и И.Г. Ассовского. – М.: Торус Пресс, 2005. – С. 59-68.
2. 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.
3. 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. Alisin V.V., Vladislavlev A.A., Roshchin M.N. Technology of obtaining wear-resistant metal-ceramic coatings with an ultradisperse hardening phase // Perspective materials and technologies. Nanocomposites, (Space Challenge of the 21st Century, Volume 2). Edited by A.A. Berlin and I.G. Assovsky. – M.: Torus Press, 2005. – P. 59-68.
2. 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.
3. 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.

Рошин Михаил Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва, Россия, Roschin50@yandex.ru

Roshchin Mikhail Nikolaevich – candidate of technical Sciences, leading researcher, Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Roschin50@yandex.ru

Received 31.10.2021