

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Рошин М.Н.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

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

Аннотация. Работа посвящена исследованию процесса лазерной наплавки износостойкого композиционного металлокерамического покрытия, с учетом его теплофизических параметров с упрочняющей фазой Al_2O_3 и ZrO_2 . Приведена зависимость глубины проплавления покрытия при воздействии теплового потока плотности мощности $3 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$ от времени его воздействия. На основании проведенных исследований разрабатывается технологический процесс наплавки металлокерамических покрытий.

LASER SURFACING OF WEAR-RESISTANT COATINGS ON PARTS OF FRICTION UNITS OF ROBOTIC SYSTEMS OPERATING IN EXTREME CONDITIONS

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. The work is devoted to the study of the process of laser surfacing of a wear-resistant composite metal-ceramic coating, taking into account its thermophysical parameters with the hardening phase Al_2O_3 and ZrO_2 . The dependence of the depth of penetration of the coating when exposed to a heat flux of a power density of $3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ on the time of its exposure is shown. Based on the conducted research, the technological process of surfacing metal-ceramic coatings is being developed.

Введение

Работоспособность узлов трения роботизированных систем в экстремальных условиях связана функционированием подвижных механизмов, в т.ч. при высоких температурах. Миниатюризация роботизированных систем приводит к повышению удельной нагрузки в узлах трения. Для обеспечения работоспособности узла трения в экстремальных условиях необходимы новые антифрикционные и износостойкие материалы, способные работать при высоких температурах, имеющие низкий коэффициент трения в паре и возможность пары трения воспринимать повышенную удельную нагрузку, необходимо в узлах трения исполнительных органов применять материалы, которые в парах трения имеют низкий коэффициент трения [1, 2]. Для создания износостойких поверхностей трения широко применяются технологии с лазерной наплавкой металлокерамических покрытий. 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 [3]. 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 сплавы 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 [4]. На процесс распространения температуры влияют следующие факторы: плотность теплового потока на поверхности, время его воздействия, теплофизические параметры обрабатываемого материала.

Цель работы: исследовать процесс нагрева и плавления покрытия системы Ni-Cr-B-Si с упрочняющей фракцией окиси алюминия Al_2O_3 и окиси циркония ZrO_2 , определить время оплавления и момент приплавания к основе 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);

$\alpha = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $c = 504 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, материал покрытия ПГ-10Н-01+20% Al_2O_3 и 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) и мелкодисперсной упрочняющей фракции (5...20 мкм) окиси алюминия Al_2O_3 и окиси циркония ZrO_2 . Толщина покрытия составляла 0,6 мм, покрытие наносилось на сталь 30ХГСА плазменным способом. Концентрация упрочняющей фракции 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 [5]. 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. Глубины проплавления покрытия при воздействия теплового потока плотности мощности $3 \cdot 10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2$ зависит от времени его воздействия. Зависимость времени проплавления по толщине покрытия приведено на рисунке 1.

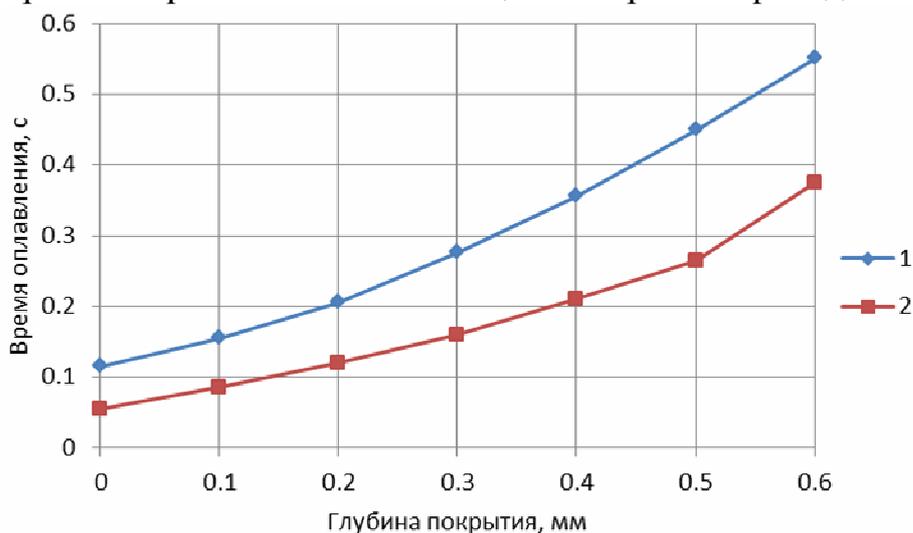


Рис. 1. Время оплавления по глубине при плотности мощности $3 \cdot 10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2$ покрытия: 1- ПГ-10Н-01+20% Al_2O_3 , 2- ПГ-10Н-01+20% ZrO_2

Композиционное покрытие начнет плавиться когда температура на поверхности достигнет $1080 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом время воздействия теплового потока составит 0,115 с для покрытия ПГ-10Н-01+20% Al_2O_3 и 0,055 с для покрытия ПГ-10Н-01+20% ZrO_2 . При достижении температуры $1535 \text{ }^\circ\text{C}$, температуры начала

плавления основы на глубине покрытия 0.6 мм, покрытие приплавится к основе – время составит 0.55 с для покрытия ПГ-10Н-01+20%Al₂O₃ и 0.375 с для покрытия ПГ-10Н-01+20%ZrO₂. 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 Al₂O₃ и ZrO₂.

Выводы

Проведен численный анализ нагрева и плавления, износостойкого композиционного покрытия эвтектического сплава системы Ni-Cr-B-Si и упрочняющей мелкодисперсной фракций Al₂O₃ и ZrO₂, предназначенного для узлов трения роботизированных систем, работающих при высоких температурах. Приведена зависимость глубины проплавления покрытия при воздействия теплового потока плотности мощности $3 \cdot 10^7$ Вт/м² от времени его воздействия. На основании проведенных исследований разрабатывается технологический процесс наплавки металлокерамических покрытий. Результаты могут быть использованы при оплавлении поверхности в лазерных аддитивных технологиях.

Список литературы

1. Юревич Е.И. Основы робототехники. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 368 с.
2. Юревич Е.И., Цариченко С.Г., Опыт и перспективы развития модульных робототехнических систем экстремальной робототехники // Труды XXI Международной научно-практической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб, 2010. – С. 21-26.
3. 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.
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. 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, ИМАШ РАН, г.Москва.