

Самарин Пётр Евгеньевич

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ВНЕДРЕНИЕМ
ЧАСТИЦ SiC В ПОВЕРХНОСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Специальность:

**05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-
технической обработки**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук**



Москва-2015

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель:

ШИГАНОВ Игорь Николаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

ГРЕЗЕВ Анатолий Николаевич
доктор технических наук,
Институт проблем лазерных и информационных
технологий РАН, заведующий лабораторией
сварки

737

ПЕТРОВСКИЙ Виктор Николаевич
кандидат физико-математических наук, доцент,
Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»,
кафедра «Лазерная техника»

Ведущая организация:

ОАО «Национальный институт авиационных
технологий» (ОАО «НИАТ»), г. Москва

Защита диссертации состоится «17» июня 2015 г. в 14.30
на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском
государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу:
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Телефон для справок 8 (499) 267-09-63.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью,
просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета имени Н.Э. Баумана и на сайте
www.bmstu.ru.

Автореферат разослан «28» апреля 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета

д.т.н., доцент



Михайлов В.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие современной техники связано с повышением производительности оборудования, его надежности и долговечности, что требует увеличения износостойкости деталей машин, а также повышения их эксплуатационных характеристик. Это достигается как путем создания новых конструкционных материалов, так и путем нанесения на детали машин и инструмент защитных функциональных покрытий. В последние годы широкое применение находят метало-керамические композитные материалы с алюминиевой матрицей, упрочненной тугоплавкими, высокопрочными керамическими частицами карбида кремния (SiC). Такие композиционные материалы при определенной доле легирования частицами SiC обладают низкими значениями коэффициента трения, а также высокими показателями по износостойкости. В ряде случаев использование объемно-легированных материалов является нерациональным. Достаточно получить на поверхности материала покрытие требуемой толщины и заданными свойствами. Поэтому создание покрытий в последнее время уделяется большое внимание.

Среди традиционных методов получения таких покрытий можно выделить технологию дуговой наплавки. Однако дуговая наплавка сопровождается большим перегревом основного металла, а также необходимостью создания специальных прутков из композиционного материала. Использование лазерных методов обработки для получения композиционных покрытий широко применяется с 80-х годов прошлого века. Однако, исследования в области получения композиционных покрытий системы Al-SiC с помощью лазерного излучения крайне ограничены и не позволяют разрабатывать на их основе реальные технологические процессы.

В связи с этим, исследование процессов и разработка технологии лазерного нанесения метало-керамических покрытий на алюминиевые сплавы является актуальной задачей.

Цель диссертационной работы - получение композиционных покрытий на поверхности деталей из алюминиевых сплавов путем ее модификации частицами SiC в процессе лазерной поверхностной обработки.

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать и исследовать метод нанесения шликерных покрытий, содержащих частицы SiC, на алюминиевых сплавах с применением лазерного излучения.
2. Разработать физическую и математическую модель внедрения твёрдых частиц SiC в расплавленную поверхность алюминиевой матрицы.
3. Теоретически оценить тепловое состояние в зоне лазерной модификации поверхности.
4. Разработать рациональные режимы и технологические приёмы создания на поверхности алюминиевых сплавов метало-керамических покрытий с частицами SiC путем их инъекции в ванну расплава, полученную лазерным излучением.
5. Провести анализ структуры и свойств покрытий в зависимости от методов и режимов обработки.
6. Исследовать трибологические свойства полученных покрытий.

Научная новизна работы, выносимая на защиту:

1. Теоретически и экспериментально показано, что внедрение частиц SiC в алюминиевую матрицу на глубину от 0,8 до 1,2 мм достигается путем инъекции их одновременно с воздействием мощного лазерного излучения на подложку, предварительно подогретую до температуры от 300 до 350 °С.
2. Установлены закономерности растворения частиц SiC в зависимости от температуры и времени существования ванны расплава. Критерием растворения является пребывание частиц выше температуры 923 К более 0,15 – 1 с. Превышение этого критерия приводит к образованию карбидов алюминия, снижающих свойства получаемых покрытий.
3. Установлено, что при рациональных режимах, температурах и гидродинамических условиях предельно достигаемое содержание внедрённых в алюминиевую матрицу частиц SiC при лазерной инъекции не может превышать 5-7 %.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Показано, что на поверхности алюминиевого сплава под воздействием лазерного излучения можно получить метало-керамическое покрытие с частицами SiC толщиной около 60 мкм. путём оплавления шликерных составов.

2. Разработаны рациональные режимы и технологические рекомендации получения метало-керамических покрытий с частицами SiC путём инъекции их в ванну расплава, созданную мощным лазерным излучением.
3. Показаны преимущества созданных покрытий в части износа перед материалами без покрытий и покрытиями, созданными другими методами.

Методы исследования. Поставленные задачи решались с использованием теоретических и экспериментальных методов исследования. Для математического моделирования тепловых процессов, проходящих при лазерном воздействии, использовали стандартный программный продукт MATLAB 7.11. Металлографические исследования проводили с применением следующего оборудования: отрезной станок Struers Discotom-6, установка для заливки образцов Struers CitoPress-20, установка для полировки и шлифовки образцов Struers Tegramin-30, микроскоп Olympus GX51. Для измерения температуры подогрева подложки поверхности в процессе лазерной обработки использовался тепловизор Testo 885. Скорость движения частиц в процессе лазерной инъекции измеряли высокоскоростной камерой Fastvideo-500M.

Достоверность. Достоверность работы обеспечена корректным использованием общих положений фундаментальных наук (уравнения баланса энергии, теплопереноса, массопереноса и т.д.), проверена по известным критериям изучаемых процессов и подтверждена экспериментальными данными.

Личный вклад. Самарин П.Е. лично провел анализ литературных источников для определения современного состояния исследуемой области и сформулировал цель и задачи диссертации, подготовил экспериментальный стенд и провел эксперименты, выполнил обработку полученных результатов и их обобщение, подготовил и сделал доклады на конференциях.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» ФГБОУ ВПО МГТУ имени Н.Э. Баумана (Москва, 2010, 2013 г.г.), Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии» (Москва, 2014 г.). Международной научно-технической конференции «Фотоника 2015» (Москва, 2015 г.).

Публикации. Основное содержание и результаты диссертационной работы изложены в 5 научных работах, из них в статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ – 3, общим объёмом – 0,9 п.л.

Объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка литературы из 72 наименований. Диссертация изложена на 112 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность темы, указаны цель работы, научная новизна, практическая ценность работы, сведения об апробации работы и публикациях.

В главе 1 проведен литературный обзор, посвященный металло-керамическим композиционным материалам с алюминиевой матрицей. Композиционные материалы с алюминиевой матрицей отличаются малой плотностью и высокой удельной прочностью. Большой интерес вызывают композиционные материалы с алюминиевой матрицей, армированные керамическими частицами SiC. Такие материалы при определенном объеме легирования обладают низкими значениями коэффициента трения и высокими показателями по износостойкости.

Работы по созданию и обработке композиционных материалов системы Al-SiC в нашей стране выполнялись Чернышевой Т.А., Чернышевым Г.Г., Калашниковым И.Е. и др., а также зарубежными исследователями J.Th.M. DeHosson, V. Ocelik и др. Во многих работах исследовались методы создания и трибологические свойства таких материалов как в литом виде, так и в виде покрытий. Изучались различные алюминиевые матрицы и объёмы их наполнения упрочняющими частицами SiC. Положительные результаты испытаний позволяют сделать вывод о том, что подобные материалы и покрытия повышают эксплуатационные свойства деталей.

Одним из основных вопросов при создании композиционных материалов системы Al-SiC является ограничение взаимодействия частиц SiC и расплава алюминия. При температуре ванны расплава выше 923 К протекает химическая реакция с образованием карбида алюминия Al_4C_3 и выделением кремния (Si):



А при температуре выше 1620 К образуется карбид кремния Al_4SiC_4 по реакции:



Образование карбидов алюминия снижает эксплуатационные свойства покрытий и изделий в целом. Основные работы посвящены нанесению подобных покрытий путём дуговой наплавки с прутковой присадкой из композиционного материала. Прутки при этом получают литейной технологией. Эти методы характеризуются высоким тепловложением в подложку, что приводит к её перегреву и значительным деформациям. Устранить и предупредить подобные процессы возможно при использовании высококонцентрированного источника нагрева такого как лазерный луч.

На основании проведённого литературного обзора были сформулированы задачи исследования.

Во второй главе приведено описание методик исследования, использованного оборудования и материалов.

В качестве подложки был выбран сплав АМгб, как наиболее распространённый для изготовления многих алюминиевых деталей работающих в условиях трения. Армирующие частицы представляли собой порошок карбида кремния зеленого (ГОСТ 26327-84) размером 14 и 80 мкм. Частицы с размером 14 мкм использовали для технологии оплавления шликерных покрытий, а частицы с более крупной фракцией 80 мкм для метода инъекции.

Шликерный слой представлял собой обмазку, содержащую частицы SiC , замешанные со связующим веществом. В качестве связующего использовали следующие материалы: цапонлак, силикатный клей, клей «Момент», полиэфирную смолу и поливиниловый спирт.

Для проведения экспериментальной части работы был создан экспериментальный стенд на базе волоконного лазера и промышленного робота. Стенд представляет собой полностью автоматизированную систему, управление которой происходит от ЧПУ промышленного робота ABB IRB 2400. В качестве источника лазерного излучения использовался современный волоконный лазер ЛС-4К мощностью 4 кВт. Рабочим инструментом при лазерной обработке является оптическая головка. В данном стенде использовалась оптическая головка фирмы Precitec YC52, которая обладает высокой стабильностью выходных оптических характеристик. В данной головке предусмотрена возможность регулировки положения коллимирующей

линзы, что позволяет менять диаметр пятна обработки. Для подачи частиц использовался порошковый питатель PF 2/2.

Исследования микроструктуры проводили на оптическом микроскопе Olympus GX51.

Трибологические испытания образцов с модифицированной поверхностью испытывали на трение и износ в условиях сухого трения скольжения. Испытания проводили на установке МТУ-01 (ТУ 4271-00129034600-2004) по схеме: торец вращающейся втулки (контртело из стали 40Х, HRC ≥ 45) скользит по поверхности неподвижного диска с нанесенным модифицированным слоем.

Для измерения температуры подогрева подложки поверхности в процессе лазерной обработки использовался тепловизор Testo 885. Скорость движения частиц в процессе лазерной инжекции измеряли высокоскоростной камерой Fastvideo-500M.

Для математического моделирования использовали стандартный программный продукт MATLAB 7.11.

Третья глава посвящена исследованию особенностей получения покрытий Al-SiC методом оплавления шликерного слоя (обмазки) лазерным излучением. Шликерный состав изготавливался путём смешивания связующих смесей с частицами SiC в разных пропорциях. Перед обработкой этот состав намазывался на поверхность алюминиевой подложки. Было исследовано несколько связующих веществ и проведены эксперименты по воздействию лазерного излучения на эти материалы, а также рассмотрена технологичность их подготовки и нанесения. В результате проведенных исследований в качестве связующего вещества был выбран раствор поливинилового спирта.

Влияние основных параметров обработки на формирование композиционного слоя изучали на одиночных дорожках. По результатам экспериментов можно выделить критические значения плотности мощности $q_{\max}$ и $q_{\min}$. При значениях меньше $q_{\min}=1,98 \cdot 10^4$ Вт/см² наблюдалась слабая связь покрытия с подложкой или вообще ее отсутствие. При значениях выше $q_{\max}=3,4 \cdot 10^4$ Вт/см² наблюдалось полное выгорание покрытия.

При оплавлении шликерного покрытия глубина получаемого композиционного слоя определяется толщиной предварительно наносимого покрытия. Путём варьирования толщины наносимого слоя установлено, что максимальная глубина качественного композиционного слоя после обработки не превышает 60 мкм. При обработке более толстого шликерного слоя

формируется композиционный слой с требуемой структурой, но он отделен от основного сплава большой полостью, образующейся в зоне плавления. Причем с увеличением толщины предварительно наносимого слоя, размер полости увеличивается.

Экспериментами установлено, что метод шликерного оплавления применим только для получения единичной дорожки, так как шликер в зоне термического влияния разрушается и вторично по нему невозможно проводить оплавление. В связи с этим, были рассмотрены другие методы внедрения частиц SiC в расплав алюминия.

В четвертой главе рассмотрена тепловая модель процесса лазерного нанесения покрытий на алюминиевый сплав. Расчётным путём установлено влияние основных параметров обработки на распределение температуры и время пребывания в области фазовых и структурных превращений. Данные расчёты необходимы для разработки более эффективной технологии создания композиционных покрытий.

В расчетах рассматривалась прямоугольная пластина длиной $a=50$ мм, шириной $b=20$ мм, толщиной $h=5$ мм с теплофизическими свойствами для сплава АМг6. Начальная температура пластины принималась равной $T_0=293$ К. Все стороны пластины охлаждались средой с температурой $T_c=293$ К. Теплообмен граней пластины задавался с помощью коэффициента теплообмена $\alpha=8.7$ Вт/(м·град). В момент времени $t=0$, принимаемый за начальный, на одну из поверхностей начинал действовать тепловой поток от подвижного концентрированного источника энергии – лазерного пучка, который осуществлял линейное перемещение с заданной скоростью по середине пластины вдоль длинной стороны.

Требовалось найти нестационарное температурное распределение в пластине при заданных тепловых условиях. В общем случае данная задача решалась численно с использованием интегро-интерполяционного метода для построения консервативной разностной схемы.

В декартовой системе координат трёхмерное нестационарное температурное поле $T(x, y, z, t)$ в пластине описывается дифференциальным уравнением теплопроводности, с соответствующими начальными и граничными условиями.

Для численного решения задачи вводилась в области $[0,a] \times [0,b] \times [0,h]$ равномерная пространственная сетка с шагами $h_x = a/N_x$, $h_y = b/N_y$, $h_z = h/N_z$,

где $N_x=100$, $N_y=100$, $N_z=20$ – число точек разбиения по осям x , y и z соответственно. Шаг по временной сетке в расчетах принимался 0,01 сек.

В результате расчетов было определено распределение температуры на поверхности пластины и время нахождения ванны расплава при температурах больше 923 К, которая ограничивает начало растворения частиц SiC в расплаве алюминия.

На Рисунке 1 представлено распределение теплового поля на поверхности пластины для момента времени $t = 0,2$ сек. Параметры расчета: $P=1800$ Вт, $V=8,5$ мм/с, $d_{\text{п}}=3$ мм.

В результате расчетов максимальная температура составила 1283 К.

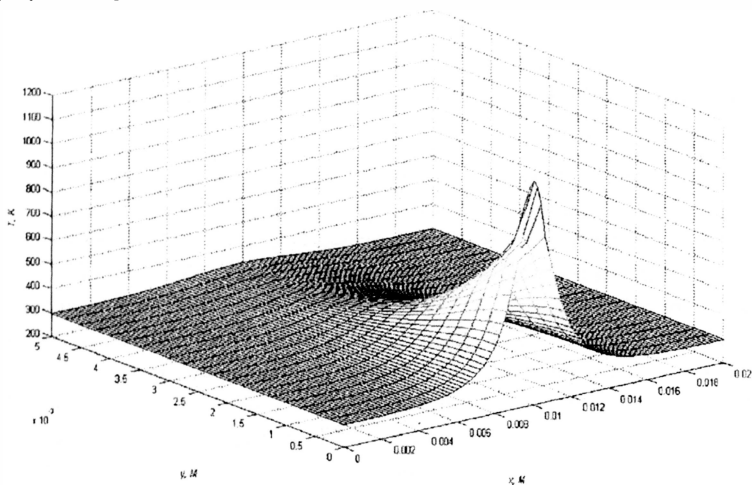


Рисунок 1.

Распределение температуры на поверхности пластины в момент времени $t = 0,2$ сек

Расчетная программа записывает все значения температуры на данном временном слое в текстовый файл, из которого можно получить температуру в любой точке тела и построить график её изменения во времени. Таким образом, вычисляется время пребывания металла выше заданной температуры.

Термический цикл обработки тем или иным методом в основном зависит от погонной энергии (P/V). Расчетная зависимость времени пребывания выше температуры 923 К от погонной энергии представлена на Рисунке 2.

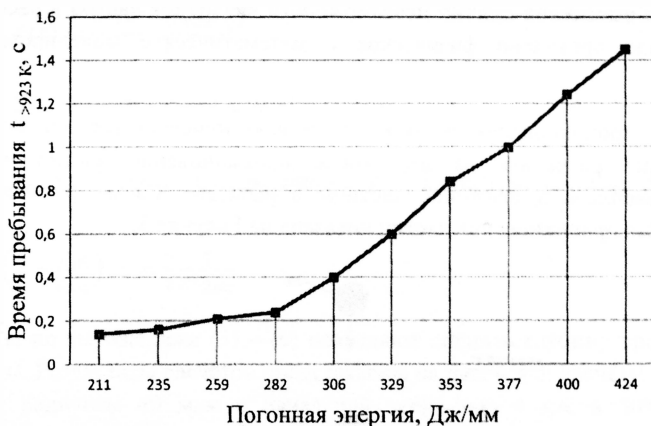


Рисунок 2.

Зависимость времени пребывания выше 923К от погонной энергии

Из графика видно, что с увеличением погонной энергии увеличивается время пребывания. Однако, при больших значениях погонной энергии наблюдается образование карбидов алюминия, которые негативно сказываются на свойствах покрытий. Так как время пребывания при высоких температурах в случае лазерной обработки значительно меньше, чем при дуговых методах, следует ожидать, что лазерные методы будут более эффективными.

В главе 5 представлены исследования метода получения композиционных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов путём лазерной инжекции частиц SiC.

Частицы SiC размером 80 мкм вдувались совместно со струёй аргона на поверхность алюминиевого сплава АМг6 под углом 30 градусов относительно оси лазерного излучения. Варьирование основных параметров процесса не позволило получить качественных покрытий. Частицы не проникали в ванну расплава на всех режимах обработки. При увеличении мощности лазерного излучения большинство частиц выгорало под действием излучения и не долетало до поверхности расплава. С увеличением мощности излучения

происходило только увеличение проплавления материала подложки. При увеличении скорости движения частиц наблюдалось сильное динамическое воздействие на ванну расплава и образование выплесков на поверхности подложки. Для выяснения причин невозможности внедрения частиц в расплав алюминия было проведено физическое и математическое моделирование процесса.

Процесс проникновения частиц SiC в алюминиевую расплавленную матрицу можно разделить на два этапа: проникновение частиц через поверхность расплава и движение частицы в расплаве. Схема физической модели процесса проникновения частиц показана на Рисунке 3.

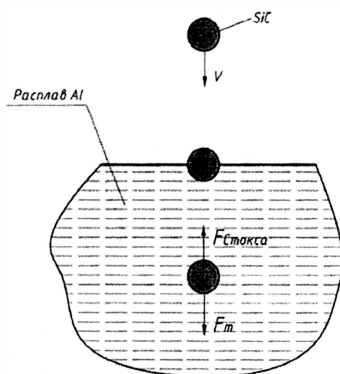


Рисунок 3.

Схематическое представление проникновения частицы

Модель основана на следующих представлениях. Первый этап проникновения связан с проблемой смачиваемости, где поверхность поразному взаимодействует в системе - твердое тело-пар, жидкость-пар и твердое тело-жидкость. Частица теряет свою кинетическую энергию, в момент пересечения границы поверхности, что связано с величиной поверхностного напряжения различных участков. Второй этап, движение твердой частицы уже в жидкости. Он может быть описан уравнением движения частицы (3) под действием двух сил: силы тяжести (F_g) и силы вязкого трения ($F_{\text{стокса}}$).

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_{SiC} \ddot{x} = \frac{4}{3}\pi R^3 g(\rho_{SiC} - \rho_{Al}) - 6\pi\eta R \dot{x} \quad (3)$$

Решая уравнение движения (3), с граничными условиями $x(0) = 0$ и $v(0) = v_{\text{умен}}$ можно определить скорость и глубину проникновения частицы как функцию времени.

$$v(t) = \dot{x}(t) = \frac{b + ce^{-ct}(v_{\text{умен}} - \frac{b}{c})}{c} \quad (4)$$

$$x(t) = \frac{bt}{c} - \frac{b - cv_{\text{умен}}}{c^2} + \frac{e^{-ct}(b - cv_{\text{умен}})}{c^2} \quad (5)$$

В выражении (4) и (5) b и c постоянные коэффициенты, которые определяются как:

$$b = g \left(1 - \frac{\rho_{Al}}{\rho_{SiC}} \right); c = \frac{9}{2} \frac{\eta}{R^2 \rho_{SiC}} \quad (6)$$

Расчёты по выражениям (3) – (6) позволяют оценить глубину проникновения частицы. Результаты расчётов представлены на рис. 4 и 5. Расчёты сделаны для частиц радиусом 40 мкм с начальной скоростью 4 м/с и 50% покрытия поверхности окисным слоем, в зависимости от времени. После прохождения через поверхность, скорость уменьшается до 1 м/с из-за поверхностного энергетического барьера. Подставляя это значение в выражения (4) и (5) можно получить скорость и глубину проникновения как функцию от времени. Частицы интенсивно теряют свою скорость и достигают уравновешенного её значения 2 мм/с за 4 мс (Рисунок 4). Как видно из графика на Рисунке 5, частица достигает максимальной глубины проникновения через 10 мс. Это позволяет сделать вывод, что для достижения глубокого проникновения не имеет смысла увеличивать время существования ванны расплава.

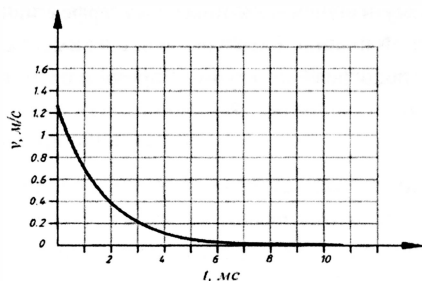


Рисунок 4.

Зависимость скорости движения частицы SiC в расплаве от времени

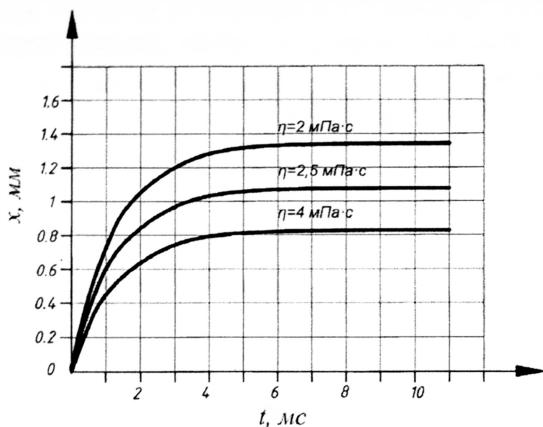


Рисунок 5.

Зависимость глубины проникновения частицы SiC в расплаве от времени

Из графиков на Рисунке 5 видно, что существенное влияние на проникновение частиц имеет вязкость расплава. Растворение окисного слоя снижает энергетический барьер и повышает глубину проникновения на 70-80%.

Расчёты показывают, что вязкость с увеличением температуры снижается по экспоненциальной зависимости.

Для повышения температуры ванны расплава, при сохранении значений параметров обработки было предложено использовать предварительный подогрев подложки, что увеличивает поглощательную способность поверхности к лазерному излучению и повышает эффективность обработки за счёт растворения окисной плёнки. Расчетная и экспериментальная зависимости влияния температуры подогрева на глубину проникновения частиц показаны на Рисунке 6.

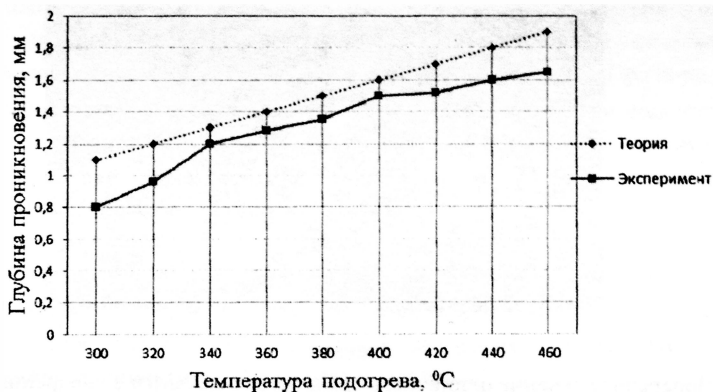


Рисунок 6.

Расчетная и экспериментальная зависимости глубины проникновения частиц при различных температурах подогрева

Как видно из графика, подогрев в диапазоне от 300 до 400 °C позволяет обеспечить проникновение частиц на глубину до 1,6 мм. Таким образом, предварительный подогрев подложки позволяет уменьшить время достижения расплавом температуры начала растворения окисной пленки. В свою очередь, при этом повышается максимальная температура ванны и снижается вязкость расплава, обеспечивая проникновения частиц SiC в расплав алюминия на значительную глубину. Проведенные эксперименты показали, что теоретические значения близки к экспериментальным, однако в последнем случае они несколько ниже. Это связано с тем, что по глубине расплава существует градиент температуры, влияющий на вязкость расплава. Со снижением температуры увеличивается вязкость расплава и тем самым, уменьшается глубина проникновения.

Для оценки трибологических свойств покрытий были изготовлены образцы на оптимальных режимах из сплава АМг6, на поверхность которых лазерной инжекцией наносились частицы SiC размером 80 мкм. Режимы лазерной обработки: плотность мощности $q = 31 \cdot 10^5$ Вт/см², $V = 8,5$ мм/с, расход порошка $f = 1,98$ г/мин. В процессе обработки пластины подогревались до температуры 320 °C. Поперечное сечение полученного одиночного трека показано на Рисунке 7.

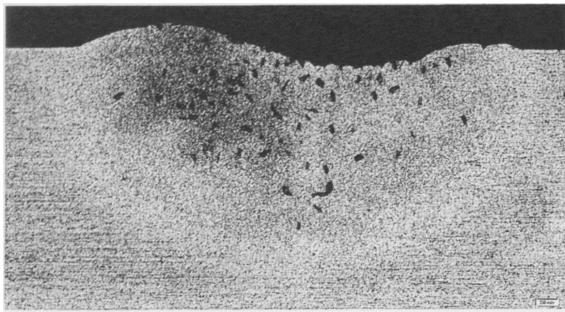


Рисунок 7.

Поперечное сечение одиночного трека на сплаве АМг6 с внедрёнными частицами SiC

На микроструктуре наглядно видно, что частицы SiC достаточно глубоко проникли в алюминиевую подложку по всему сечению дорожки. Объемная доля частиц SiC в слое составляет около 6 %, при ширине дорожки около 1 мм. Растворения частиц в объеме расплава практически не наблюдалось.

Проведенные трибологические испытания показали, что интенсивность изнашивания модифицированных образцов существенно ниже, чем образцов из материала матрицы. Модифицированные образцы обладают значениями интенсивности изнашивания в 7-9 раз меньше, чем матричный сплав.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе экспериментальных и теоретических исследований показано, что методом лазерного оплавления шликерных покрытий возможно получить на поверхности алюминиевых сплавов композиционный слой с частицами SiC толщиной не более 60 мкм.
2. В результате экспериментальных исследований установлено, что наилучшим материалом при создании шликерного покрытия служит раствор поливинилового спирта, который отвечает всем требованиям, предъявляемым к связующему веществу для создания и нанесения шликерных покрытий.
3. Расчетным путем установлено время нахождения расплава алюминия выше температуры начала взаимодействия частиц SiC и расплава Al. При погонной энергии 211 Дж/мм оно составляет 0,14 сек. При таких

значениях времени не происходит интенсивного взаимодействия частиц SiC и расплава Al, что подтверждается металлографическими исследованиями. Подобные условия обеспечивает лазерная обработка.

4. Разработана физическая и математическая модели проникновения частиц SiC в расплав Al, позволяющие расчетным путем определить максимальную глубину проникновения этих частиц в расплаве при оптимальных параметрах лазерной обработки.
5. Установлено, что окисный слой на поверхности расплава является основным фактором, определяющим процесс лазерной инъекции частиц SiC. Наличие окисного слоя на поверхности определяет характер смачивания частиц SiC расплавом алюминия и как следствие возможность проникновения частиц в расплав.
6. Расчётным и экспериментальным путем показано, что использование предварительного подогрева подложки до температуры 300 °С и выше позволяет создать необходимые условия проникновения частиц SiC в расплав для получения композиционного покрытия.
7. Установлено, что с помощью технологии лазерной инъекции возможно получить композиционный слой на поверхности алюминиевого сплава АМгб с содержанием частиц SiC не более 7 %, что связано с малым временем существования ванны расплава. Однако, как показали трибологические испытания таких покрытий в условиях сухого трения при скорости скольжения 0,64 м/с и удельной нагрузке 0,35 МПа, интенсивность изнашивания сплава АМгб, содержащего 6 % SiC составила 0,0112 мг/м, что на порядок меньше, чем у основного сплава (0,1 мг/м).

РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шиганов И.Н., Самарин П.Е. Исследование состава связующих веществ шликерного слоя с его последующим оплавлением излучением волоконного лазера// Сварочное производство. 2011.№12.С. 31-34. (0,5п.л./0,25п.л.)
2. Шиганов И.Н., Самарин П.Е. Модифицирование поверхности алюминиевых сплавов карбидами кремния методом лазерного оплавления// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012.Выпуск №5. С.62-68. (0,4 п.л./0,2 п.л.)

3. Шиганов И.Н., Самарин П.Е. Моделирование процесса формирования на поверхности алюминиевых сплавов композиционного покрытия с частицами SiC мощным лазерным излучением//Сварочное производство.2015.№5.С.17-21. (0,9п.л./0,45 п.л.)