

- эффективные емкости для хранения СПГ;
- средства транспортировки сжатого и ПГ;
- атмосферные и электрические испарители и подогреватели природного газа среднего и высокого давления;
- центробежные и поршневые криогенные насосы для СПГ;
- газобаллонные системы и топливные баки для СПГ;
- криогенные запорные, регулирующие и предохранительные клапаны;
- бесшовные нержавеющие трубы в бухтах для прокладки газовых магистралей в пределах автомобильных газонаполнительных станций;
- устройства заправки автомобилей сжатым или ПГ.

Таким образом, данное обстоятельство в сочетании со всеми перечисленными выше экономическими, политическими, экологическими и техническими преимуществами природного газа указывает на то, что в ближайшее время ожидается бурный рост газомоторной отрасли СНГ и дальнем зарубежье и мы должны быть к этому готовы.

Список литературы:

1. Исследование влияния инфраструктуры городского хозяйства на региональное социально-экономическое развитие / Е.В. Уфимцева, И.В. Волчкова, Ю.В. Подопригора, М.Н. Данилова, Н.Р. Шадейко, А.А. Селиверстов // Региональная экономика: теория и практика. – 2017. – Т. 15. – № 2 (437). – С. 237–253.
2. Слободов Е.Б. Веские причины для применения природного газа на транспорте / Е.Б. Слободов // Gasworld Россия и СНГ. – 2014. – №35. – С. 30-32.
3. Использование КПГ: экономика, экология, безопасность / Gasworld Россия и СНГ. – 2014. – №35. – С. 24-25.
4. Сахалин-2. Первый в России завод по производству сжиженного природного газа. URL: <http://www.gazprom.ru/projects/sakhalin2/> (дата обращения 10.01.2019).
5. Мовчун Е.П. Создание эффективных автомобильных криобаков для СПГ. / Е.П.Мовчун // Технические газы. – 2009. – №3. – С. 68-72.
6. Мусафирова Г. Я О необходимости внедрения технологии интернета вещей на машиностроительных предприятиях Беларуси / Г.Я. Мусафирова // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте [Электронный ресурс]: сборник материалов Международной научно-практической конференции, Кемерово, 29-30 ноября 2017г. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 326-328.
7. Мусафирова Г. Я О перспективах белорусских выпускников инженерных специальностей / Г.Я. Мусафирова // Образование. Наука. Карьера: в 2 т. Т. 1: сборник научных статей Междунар. науч.-метод. конф., Курск, 24 января 2018г.- Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2018. – С. 276-279.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНОГО ТРЕКА ИЗ ПОРОШКА ТІ ПРИ СЛП

*Е.А. Ибрагимов, к.т.н., ст. преп., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., Е.В. Бабакова, ассист.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (+7 38451) 7-77-61
E-mail: egor83rus@tpu.ru*

Аннотация: По результатам математического модельного расчета плавления порошка титана под воздействием лазерного излучения определен диапазон технологических параметров селективного лазерного плавления (СЛП): скорость сканирования, толщина слоя порошка, температура порошка, шаг сканирования. Получена панель единичных треков из порошка титана, исследована размерность сплавленных треков.

Abstract: Based on the results of mathematical model for calculating the melting titanium powder under the influence of the laser radiation defined range of process parameters of the selective laser melting (SLP) scanning speed, the thickness of the powder layer, the powder temperature, the scanning step. A panel of single tracks from titanium powder was obtained, the dimension of the fused tracks was investigated.

Ключевые слова: Селективное лазерное плавление, титан, математическое моделирование.

Keyword: Selective laser melting, titanium, mathematical modeling.

Титан и его сплавы широко используются в качестве материалов для изготовления медицинских имплантатов и хирургических инструментов. Это связано с хорошими механическими свойствами, биосовместимостью и высокой коррозионной стойкостью сплавов. Шероховатая поверхность медицинских имплантатов оказывает благоприятное влияние на остеоинтеграционные процессы. Использование пористых имплантатов позволяет надежно фиксировать имплантат в костных тканях за счет увеличения площади соприкосновения поверхности «имплантат – костная ткань». Наилучшие результаты отмечаются для поверхностей с регламентированной пористостью [1]. Но шероховатость и пористость поверхности отрицательно влияют на усталостную прочность при циклических нагрузках. Неровности на поверхности имплантатов играют роль концентраторов напряжений и стимулируют образование усталостных трещин [2]. Следовательно, для устранения противоречий между требованиями остеоинтеграции и усталостной прочностью необходимо получить оптимальную пористую структуру.

Реализация решения тепловых моделей была осуществлена при помощи математического пакета COMSOL Multiphysics. COMSOL Multiphysics – это программный пакет, предназначенный для моделирования и расчетов научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) с использованием метода конечных элементов (FEM) [3-5]. Формирование сплавленного слоя при методе СЛП происходит путем построчного сплавления порошинок лазерным лучом. При перемещении лазерного луча формируется сплавленный трек. Определив технологические режимы, при которых будет формироваться равномерный, неразрывный трек, можно предположить, что будет формироваться слой приемлемого качества (без больших пор и равномерный по толщине).

В таблице 1 приведены наименования и значения параметров, которые учитывались в качестве граничных условий при реализации модели.

Таблица 1

Граничные условия в модели		
№	Параметр	Значение
1	Начальная температура порошка	27 °С
2	Мощность лазерного излучения	100 Вт
3	Скорость перемещения лазерного луча	10–70 мм/с
4	Диаметр пятна лазерного излучения	100 мкм

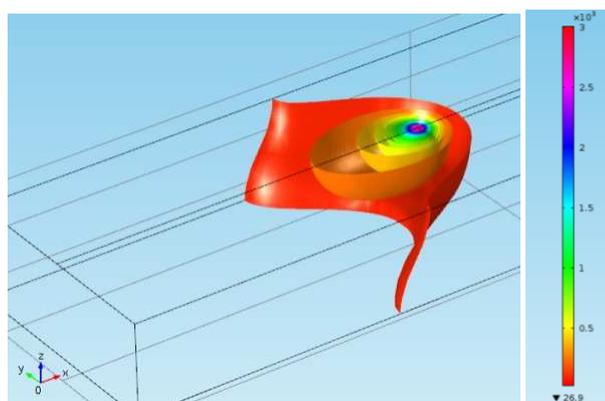


Рис. 1. Изоповерхности с температурными полями

Изоповерхности с температурой равной или превышающей температуру плавления порошкового материала, позволяют предположить, что в данной области будет формироваться ванна жидкого металла глубиной h и шириной B и сплавленный трек соответствующих размеров в сечении.

С помощью предложенной тепловой модели (рисунок 7, 8) проведен расчет и теоретический анализ изменения ширины и толщины сплавленного трека от скорости сканирования лазерным лучом ($v = 10\text{--}70$ мм/с). Результаты представлены на рисунке 2. Таким образом, в первом приближении приняты режимы, при которых ширина зоны плавления больше шага сканирования, глубина зоны плавления больше толщины слоя порошка. Из рисунка 2 (б) видно, что требуемые условия достигаются в диапазоне скоростей сканирования $v = 10\text{--}50$ мм/с.

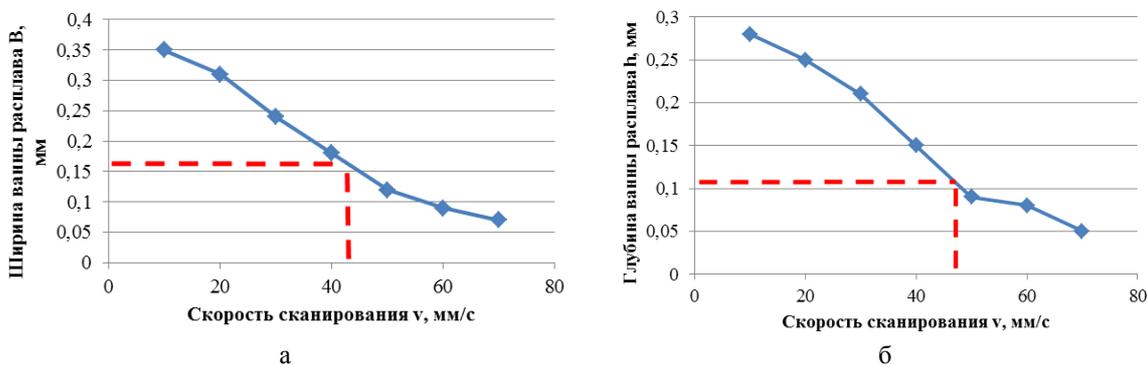


Рис. 2. Расчетные значения ширины (а) и толщины (б) сплавленного трека от скорости сканирования

Реализация поисковых экспериментов по формированию трека, реализовано на экспериментальной установке послыного синтеза изделий «ВАРИСКАФ-100МВС». Изменяемыми параметрами являлись: модуляция ЛИ ($m = 100, 200, 300, 400, 500$ Гц), скорость сканирования ($v = 20, 40, 60, 80, 100$ мм/с), температура подогрева порошка ($t_p = 27, 63, 100, 200, 300$ °С). Неизменяемыми параметрами являлись: диаметр пятна лазера $d_{ЛИ} = 150$ мкм, мощность лазерного излучения $P = 100$ Вт, газовая среда инертная (аргон высокой чистоты). Оптические изображения нескольких треков сплавленного порошка марки ВТ1-0 представлены на рисунках 3 и 4.

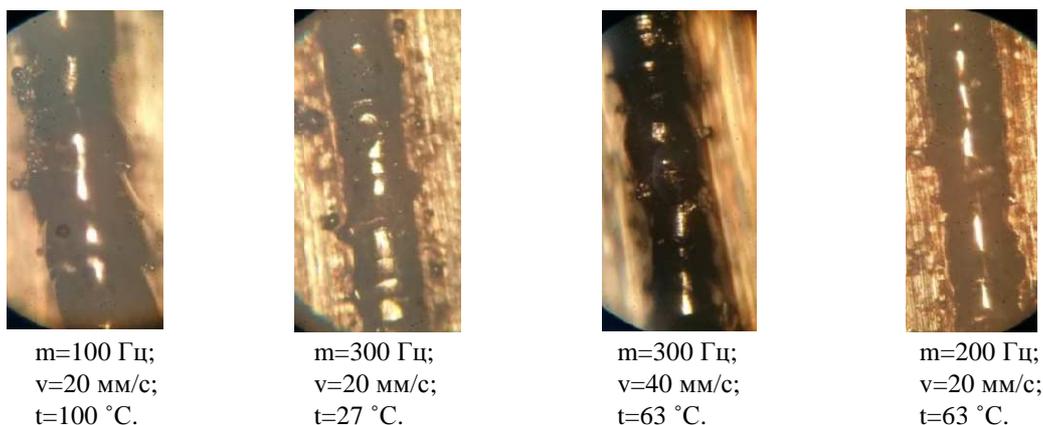


Рис. 3. Единичные треки из порошка марки ВТ1-0

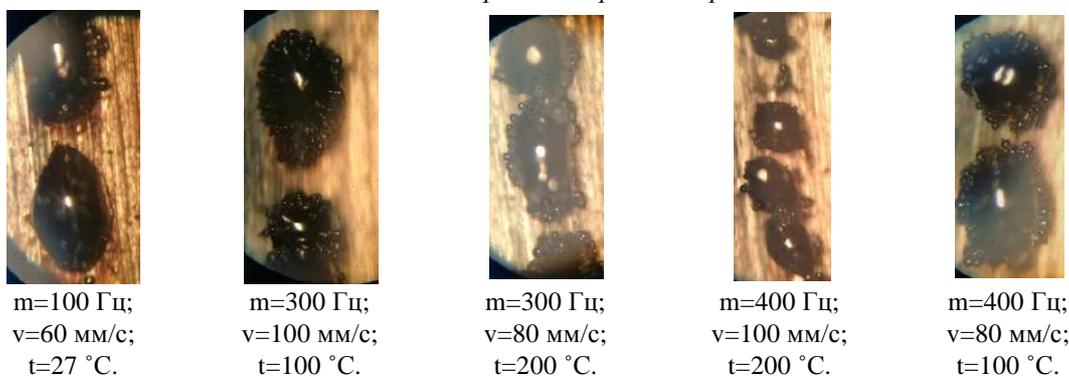


Рис. 4. Единичные треки из порошка марки ВТ1-0 при режимах СЛП выходящих за диапазон рекомендуемых расчетных значений

В процессе проведения поисковых экспериментов установлено, что при скорости сканирования больше 40 мм/с частицы порошка сплавлялись частично, при извлечении треки осыпались и не держались

на подложке. Согласно модельным расчетам глубина проплавления ванны при скоростях сканирования от 50 до 70 мм/с составляет 0,05-0,09 мм. Это связано с тем, что с увеличением скорости сканирования трек не успевал проплавляться на требуемую глубину, оставляя не сплавленные участки. При увеличении скорости сканирования от 60 до 100 м/с значительно увеличивался эффект коагуляции частиц.

При скоростях сканирования в диапазонах 20-40 мм/с, частоте модуляции лазерного луча 100-300 Гц создавались благоприятные условия для формирования ровных, плотных треков, которые прочно удерживались на подложке. Ширина полученных треков на данных режимах составляла 180-220 мкм, что позволило определить рекомендуемый шаг сканирования 100 мкм для формирования единичных сплавленных слоев. Хорошая адгезионная способность треков к подложке позволяет говорить о том, что при данных режимах формируется ванна расплава, которая значительно превышает толщину наносимого слоя порошка, соответственно при формировании многослойных структур будет обеспечиваться хорошее сплавление между слоями.

Так же поисковые эксперименты показали, что результаты моделирования достаточно хорошо коррелируют с результатами, полученными экспериментальным путем, что предполагает рекомендовать данную модель для определения технологических режимов СЛП и для других металлических порошковых материалов.

Работа выполнена при поддержке программы "УМНИК" (Договор №13100ГУ/2018 от 15.05.2018 (код 0039896), заявка №У-44062)

Список литературы:

1. Е. В. Бабакова, А. А. Сапрыкин, Е. А. Ибрагимов. Применение селективного лазерного плавления для изготовления индивидуальных медицинских имплантатов из титана. Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, 24–26 мая 2018 г., Юрга. Томск: Изд-во ТПУ, 2018. С. 120-122.
2. Е. В. Бабакова и др. Применение селективного лазерного сплавления для получения низко модульного сплава системы титан – ниобий. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2016. Т. 18, № 1. С. 117-131.
3. Горбунов В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете FEMLAB. Учеб. пособие. Иваново. 2008. с. 216.
4. Pryor, W. Roger/ Multiphysics modeling using COMSOL: a first principles approach [Электронный ресурс]. 2010. Режим доступа: <http://comsol.com/books/mmucfpa>.
5. Ибрагимов Е. А. Разработка оборудования и технологии формирования изделий из медного порошка методом селективного лазерного плавления: диссертация ... кандидата Технические наук: 05.02.07 / Ибрагимов Егор Артурович; [Место защиты: ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук], 2018. с.186

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

В.А. Татаринцев, к.т.н, доц., А.К. Толстошеев, к.т.н, доц.

*Брянский государственный технический университет, г. Брянск
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7, тел. (4832) 58-82-12
E-mail: tatarin-55@yandex.ru*

Аннотация: Исследовано влияние на характеристики циклической прочности малоуглеродистой литой стали различных методов упрочнения, например, легирования и термической обработки. Сформирован программный блок изменения напряжений, отражающий особенности эксплуатационного режима нагружения. Определены значения характеристики статической и циклической прочности. Выполнено сравнение сталей по показателям надёжности – долговечности и вероятности разрушения.

Abstract: The article examines the effect on the characteristics of cyclic strength of low-carbon cast steel of various methods of hardening, for example, alloying and heat treatment. A software block for voltage changes, reflecting the features of the operating mode of loading, is formed. The values of the characteristics of static and cyclic strength are determined. Comparison of steels in terms of reliability - durability and probability of destruction.