УДК 621.762.55

А.С. Орыщенко д-р техн. наук**, П.А. Кузнецов** д-р техн. наук**,**
В.В. Бобырь, В.И. Савин, А.В. Терещенко
ФГУП Центральный научно-исследовательский институт
«Конструкционных материалов «Прометей», Россия
Тел./Факс: +7(812)2741533; E-mail:victorm@crism.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ И ОБЪЕМНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В статье представлены возможности применения перспективных технологий объемной лазерной наплавки и селективного лазерного спекания в машиностроении с целью создания деталей сложной формы и восстановительного ремонта изношенных элементов изделий различного назначения. Приведены данные по выбору режимов спекания металлопорошковых материалов и твердости полученных изделий.
Ключевые слова: *селективное лазерное спекание, лазерная наплавка, восстановление и ремонт, создание трехмерных изделий*

1. Введение

В настоящее время на рынке востребованы разработки и технологические процессы, обеспечивающие не только требуемый уровень качества получаемой продукции, но и приводящие к снижению энерго- и материалоемкости и себестоимости продукции. Кроме того, немаловажным является и качество получаемых материалов, от которого напрямую зависит качество готовых изделий, количество поломок оборудования, его ресурсные характеристики, расход топлива и т.д.

На сегодняшний день в развитых странах интенсивно развиваются технологии изготовления изделий сложной геометрии или нанесения функциональных покрытий на поверхности сложных деталей машин и механизмов из металлических порошковых материалов с помощью лазерного излучения. Это технологии селективного лазерного спекания и наплавки. Их преимущество, в отличии от традиционных методов наплавки (плазменная, электродуговая и газопламенная) заключается в следующем:

- локальный нагрев;
- отсутствие повышенных термических напряжений;
- спекание новых композиционных материалов из несмешивающихся компонентов;
- создание и нанесение покрытий различных форм.

С целью получения функциональных покрытий, создания и восстановления деталей и изделий сложной геометрии, в том числе поврежденных в процессе эксплуатации, технологии селективного лазерного спекания и наплавки и получения объемных объектов являются уникальными, позволяющими получать заданные эксплуатационные характеристики, заданные геометрические размеры изделий и покрытий [1,2].

2. Основное содержание и результаты работы

2.1 Восстановление деталей, используемых в машиностроении, на примере режущего инструмента по технологии LENS

В настоящее время проблема создания, упрочнения и восстановления тяжелонагруженных деталей и изделий в различных областях машиностроения является одной из наиболее актуальных задач.

В качестве перспективного метода, относящегося к технологиям восстановления изделий и нанесения покрытий из металла, рассматривается селективная лазерная наплавка, одной из разновидностей которой является технология LENS (Laser Engineered Net Shaping). В качестве исходного формирующего материала применяются металлические порошки различных классов и назначений.

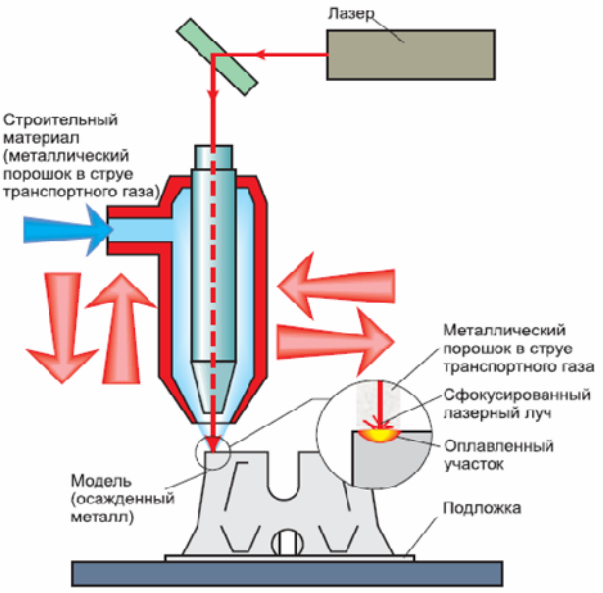

Рис. 1. Схема лазерной наплавки по технологии LENS

Схематично процесс объемной лазерной наплавки заключается в том, что мощный лазерный луч (Рис. 1) оплавляет изделие, образуя локальную микроскопическую ванну жидкого расплава. Струей инертного транспортирующего газа-аргона в расплав вдувается порция металлического порошка. После смещения лазерного луча жидкий металл моментально затвердевает, а за счет введенного в расплав порошка на поверхности изделия появляется локальное утолщение. Таким образом, в результате методичного сканирования поверхности изделия лазерным лучом с одновременной инжекцией строительного порошка формируется первый и все последующие слои создаваемого объекта [3].

Данный метод позволяет применять в качестве формирующего материала практически любые металлы и сплавы, которые могут быть расплавлены лазерным лучом без испарения. За счет сверхбыстрой кристаллизации создаваемые детали имеют ультрамелкозернистую или аморфную структуру. Как показывают результаты сравнительных испытаний, по своим механическим свойствам эти детали не только не уступают, но в ряде случаев значительно превосходят изделия, получаемые из аналогичных сплавов традиционными производственными методами (литье, штамповка).

Установка LENS 750 оснащена оптоволоконным лазером Nd:YAG с длинной волны λ = 1,064 мкм и мощностью 500 Вт. Максимальный размер создаваемой детали 300x300x300 мм. Средняя скорость выращивания объектов составляет 8 $см^3$/час.

Метод селективной лазерной наплавки по технологии LENS рассмотрим на примере восстановительного ремонта режущего инструмента (Рис. 2),

предоставленного ОАО «Калужский турбинный завод». Как видно из Рис.2, сточены режущие кромки бур – фрезы. Схематично дельта износа, а также область требуемая к восстановлению представлена на Рис. 3.

Рис. 2. Фотография изношенного режущего инструмента (бур – фреза)

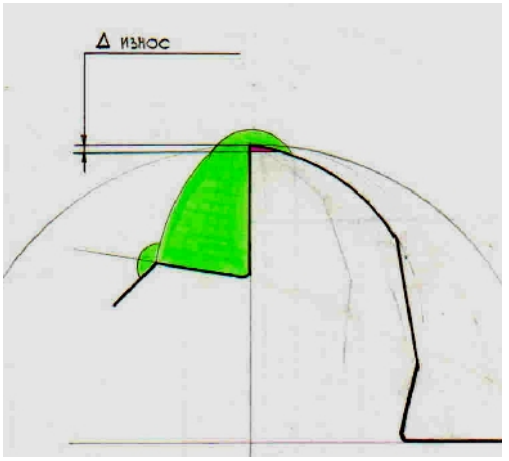

Рис. 3. Схематичный поперечный разрез бур-фрезы с областью износа (красный цвет) и зоной восстановления (зеленый цвет)

С помощью рентгенофлюоресцентного анализатора NITON XL3t был определен химический состав материала, из которого была сделана бур – фреза: Fe – 74 %, W – 19 %, Cr – 3,7%, V – 1,4 %. Также была измерена твердость режущих кромок, которая составила 30 HRC. Исходя из полученных результатов, в качестве материала для восстановления было предложено использовать металлический порошок марки Р6М5 (Fe – 80%, W – 7%, Mo – 6%, Cr – 3,5%, V – 1,7%), так как его заявленная твердость не уступает твердости материала фрезы и по фракционному составу удовлетворяет требованиям установки LENS 750.

Для определения режима восстановительного ремонта была вырезана часть бур – фрезы, на которую затем наплавлялся порошок в виде единичного сканирования лазером с изменением мощности излучения от 250 до 500 Вт с шагом 50 Вт.

Исходя из сыпучести порошка скорость подачи его была экспериментально определена равной 0.276 г/с, скорость сканирования 0,016 м/с, работы проводились в

среде аргона с содержанием кислорода 5-40 ppm (1000 ppm = 0.01% кислорода в камере).

С помощью металлографии единичного сканирования лазером была оценена зона расплава и определено количество наплавляемого материала (см. табл. 1).

Таблица 1. Количество наплавленного материала в зависимости от мощности лазерного излучения

№ образца	Мощность излучения, Вт	Ширина зоны расплава, мкм	Высота наплавленного слоя, мкм
1	250	667	150
2	300	623	175
3	350	778	275
4	400	945	350
5	450	889	375
6	500	934	400

Исходя из представленных выше результатов, для восстановительного ремонта был выбран режим №3 (Табл.1), как наиболее оптимальный с точки зрения качества и количества наплавляемого материала. Данный режим является наиболее подходящим для выставления расстояния между единичными проходами в виду технологической особенности установки. Для получения наиболее четкой геометрии восстанавливаемого слоя расстояние между единичными проходами было выбрано 400 мкм. По выбранному режиму на режущие кромки бур – фрезы был наплавлен металлический порошок марки Р6М5 (Рис. 5).

Как видно из Рис. 5, материал наносился на сточенные части режущего инструмента. Некоторые элементы бур-фрезы восстанавливались с избытком наплавляемого материала для того, чтобы в дальнейшем провести финишную механическую обработку инструмента. Припуск на мехобработку наплавленного лазером материала не превышает 2 мм, тогда как при других способах наплавки в несколько раз больше, что приводит к большему расходу относительно дорогого наплавочного материала и существенно увеличивает расходы на мехобработку.

После восстановления был произведен замер микротвердости материала изделия и наплавленного материала на микротвердомере ПМТ – 3, при нагрузке 200 грамм, твердости составили 28HRC и 58HRC соответственно. Получение высоких физико-механических свойств поверхностных слоев связано, как указывалось выше, с высокими скоростями нагрева и охлаждения, которые обеспечивает данная технология. Кроме того повышение свойств связано с использованием сферических порошков фракции 60 – 140 мкм из инструментальной высокопрочной быстрорежущей стали.

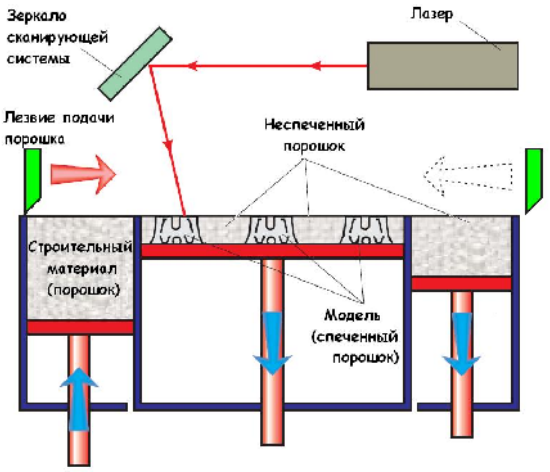

Рис. 6. Схема установки лазерного спекания по технологии DMLS

Приведенный конкретный пример иллюстрирует принципиальные возможности лазерных технологий для восстановления деталей машин и инструмента, однако реальные возможности этого метода существенно шире и позволяют восстанавливать геометрически сложные изделия, наносить защитные покрытия на тела вращения, а также послойно строить элементы деталей и узлов [4].

2.2 Создание изделий и нанесение объемных покрытий сложной формы по технологии DMLS

Одним из новых путей решения задач создания уникальных изделий в машиностроении являются технологии селективного лазерного спекания, к которым относится DMLS (Direct Metal Laser Sintering), непосредственное лазерное спекание металла. Сущность технологии заключается в послойном спекании требуемой детали из металлического порошка при его нагреве и частичном плавлении в сильном лазерном поле. Порошок при этом подается из питающего контейнера и с помощью специального керамического лезвия тонким слоем (порядка 20 – 40 мкм) распределяется по поверхности. Лазерный луч с помощью системы отклонения и фокусировки обводит контур первого слоя будущей модели, затем сканирует все пространство внутри него. После нанесения нового слоя порошка процесс повторяется (Рис. 6) [3,5].

Технология DMLS реализована в установке EOSint M270 у которой максимальный строительный объем 250 ×250 ×215мм; скорость выращивания 7,2 – 72,0 $см^3$/ч (зависит от материала); толщина слоя до 0,3 мм (зависит от материала); тип лазера: Yb-оптоволоконный лазер с длинной волны λ = 1,064 мкм и мощностью 200Вт; скорость сканирования 7,0 м/сек (максимальная).

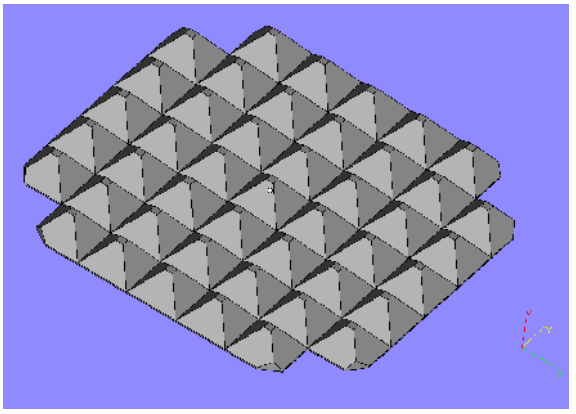

Рис. 7. Модель трехмерного покрытия

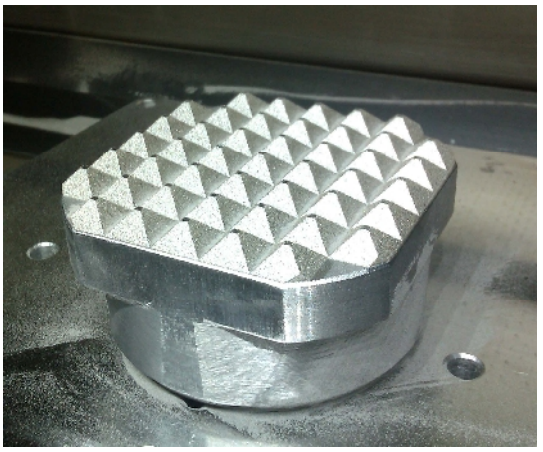

Рис. 8. Зажим с пирамидальной поверхностью, изготовленный по технологии лазерного спекания

Для получения изделий сложной формы различных конфигураций проведены серии работ с ЗАО «Охтинский завод строительных машин» с использованием в качестве исходного материала порошков различных сталей на основе Fe, Ni, Co–Cr. Основной задачей работ являлось выращивание на гладкой поверхности заготовки «губки-зажима» пирамидального трехмерного покрытия (Рис. 7) с целью повышения микротвердости исходного материала с 20 – 23 HRC до 50 – 60 HRC и упрощения производства сложных элементов изделия. Для отыскания наиболее оптимальных режимов спекания в процессе работы варьировались как мощность подводимого лазерного излучения, глубины спекаемых слоев так и время взаимодействия лазерного излучения с частицами. Микротвердость полученных деталей после лазерного спекания составила 30 – 35 HRC. Затем изделие подвергали термической обработке при $T_{т.о.}$=580°C, после чего микротвердость возрастала до 53 HRC (Рис. 8). Благодаря найденному решению использования технологии селективного лазерного спекания удалось уменьшить временные, трудовые и финансовые затраты.

Результаты проведенных исследований наглядно показывают, что технологии селективного лазерного спекания позволяют получать изделия сложной пространственной формы с параметрами микротвердости приближающимися к величинам характерным для изделий, получаемых традиционными методами металлообработки из массива. При этом, практически неограниченные пространственные возможности исследуемой технологии делают ее весьма перспективной для решения широкого спектра задач в машиностроении.

3. Заключение

Таким образом, описанные в статье возможности технологий LENS и DMLS позволили решить сложную задачу не только по восстановлению изношенных элементов штучных дорогостоящих изделий, но и созданию новых объемных покрытий сложной геометрии, значительно уменьшив тем самым стоимость и время производство.

Большие перспективы объемная лазерная наплавка имеет при восстановлении валов и лопаток турбин, гребных и рулевых валов морских судов. Изношенные поверхности валов можно направлять различными сплавами в зависимости от требования заказчика: нержавеющими сплавами; на основе никеля или кобальта; на основе чугуна и т.д.

В свою очередь, использование технологий селективного лазерного спекания позволяет создавать цельные функциональные детали сложной формы с внутренними полостями и восстанавливать их, а также сократить время производства и стоимость штучного продукта в машиностроении.

Список литературы:

1. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С.424

2. П.А. Кузнецов, А.В. Терещенко, В.И. Савин, В.В. Бобырь, М.А. Юрков, И.В. Кудрявцева Технологии лазерного синтеза порошковых материалов для создания, восстановления и ремонта изделий сложной формы – Минск: Сборник докладов 8-го Международного симпозиума (ч. 2), 2013 – 117-123 с., ISBN 978-985-08-1555-2

3. Кузнецов В. «Системы быстрого изготовления прототипов и их расширения» – Москва: Машиностроение и смежные отрасли №4 (13) 2003.

4. А.В. Терещенко, В.В. Бобырь, В.И. Савин Исследование влияния параметров лазерного излучения на геометрию наплавляемого материала по технологии LENS // Металлообработка. 2012. №1 (67). СПб. С. 28 – 32.

5. Бобырь В.В., Терещенко А.В. Создание изделий особо сложной формы для машиностроения на базе композиционных наноматериалов с помощью лазерных технологий // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2010. №39. Донецк. С. 7 – 13.

A.S. Oryschenko, P.A. Kuznetsov, V.V. Bobyr, V.I. Savin, A.V. Tereshchenko

APPLICATION OF TECHNOLOGY OF SELECTIVE LASER SINTERING AND LASER CLADDING VOLUME FOR CREATION AND RESTORATION PARTS USED IN MECHANICAL ENGINEERING

The paper presents the possibility of using advanced technologies volume laser cladding and selective laser sintering in mechanical engineering in order to create complex shapes and reconditioning of worn elements of products for various purposes. The data on the choice of modes of sintering metal powder materials and hardness of the products obtained.

Keywords: *selective laser sintering, laser cladding, restoration and repair, creating a three-dimensional product*

А.С. Орищенко, П.О. Кузнєцов В.В. Бобир, В.І. Савін, А.В. Терещенко

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ І ОБ'ЄМНОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У МАШИНОБУДУВАННІ

У статті представлені можливості застосування перспективних технологій об'ємної лазерної наплавки і селективного лазерного спікання в машинобудуванні з метою створення деталей складної форми та відновного ремонту зношених елементів виробів різного призначення. Наведено дані щодо вибору режимів спікання металлопорошкових матеріалів і твердості отриманих виробів.

Ключові слова: *селективне лазерне спікання, лазерна наплавка, відновлення і ремонт, створення тривимірних виробів*

Надійшла до редколегії 30.05.2013 р.