

УДК 621.762:669.1

ЛАЗЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ СПЕЧЕННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

¹В. Маркович, ²Ж.А. Межеэвска, ³В.С. Голубев,¹О. Чернашеюс, ¹С. Индришюнас, ¹Р. Лукаускаите¹Вильнюсский Технический университет имени Гедимина, г. Вильнюс, Литва²Белостокская Политехника, г. Белосток, Польша³Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Всё более популярно использование лазерных технологий в производстве деталей сложной геометрической формы. Это связано с наличием таких технологий прототипирования как селективное лазерное спекание (*selective laser sintering*), направленное лазерное селективное спекание (*direct laser selective sintering*), селективное лазерное плавление (*selective laser melting*). Такие лазерные технологии позволяют не только изготавливать детали сложной геометрической формы, но и быстро и экономически эффективно реставрировать повреждённые детали. Несмотря на многие положительные моменты, деталям после применения лазерных технологий не чужды и дефекты. В работе анализируется влияние изменения основных параметров лазерного луча на поверхностный слой образцов, изготовленных с помощью селективного лазерного спекания.

The use of laser systems in the manufacture of complex geometric form is more and more popular. This happens because of the rapid prototyping systems such as selective laser sintering (SLS), direct laser metal sintering (DLMS), selective laser melting (SLM), that allow not only the production of parts with complex geometric form, but also to fast, cheap and effective restoration of damaged places of the parts. Despite the many advantages of the above mentioned technologies, details obtained on the basis of these technologies are characterized by different defects. The laser beam main modes changing influence on the parts built by SLS was studied in the paper.

Металлические изделия, изготовленные методом СЛС, применяются в мелкосерийном производстве, например, для изготовления литейных форм, в том числе для литья под давлением. Несмотря на то, что СЛС-технология обеспечивает получение хорошей точности формы деталей и повторяемость производства, её применение ограничено резким снижением, по сравнению с традиционным литьем, механических и триботехнических свойств изделий. Более того, в результате оплавления частиц порошка (обычно используются порошки со средним размером частиц 5 мкм) и действия термокапиллярных сил в материале образуются поры и раковины размером до 100 мкм, что является дефектом, ограничивающим применение деталей. Проплавление большой массы порошкового материала и относительно низкая скорость движения луча лазера

в СЛС-процессах (порядка 50 мм/с) приводит к образованию значительных напряжений растяжения полученного покрытия. Это ожидаемый результат, так как формирование каждого слоя представляет собой закалку из жидкой фазы при высоком градиенте температуры [1–6].

Общей чертой СЛС-технологий [1, 5] является низкая скорость введения тепловой энергии. Наиболее часто в этих процессах используется непрерывный режим генерации лазерного излучения. Понимание механизмов, управляющих процессами структурообразования при лазерной обработке, естественным образом приводит к идее модернизации СЛС-технологии путём изменения энергетических режимов финишной лазерной обработки спеченных материалов в сторону значительного увеличения энергетического воздействия на тонкий поверхностный слой спеченного материала.

Лазерная поверхностная полировка как технология была создана для того, чтобы за короткий промежуток времени на поверхности детали с неприемлемыми техническими характеристиками сформировать нужный рельеф, текстуру, шероховатость, геометрическую форму [8–10].

Основу технологии составляет формирование поверхности детали путем обработки лазерным пучком. Технология включает 3 основных этапа.

Первый этап – базирование образца в рабочей зоне лазерного агрегата. Чаще всего для обработок такого типа используют 2D (XY план) системы позиционирования. Из-за ограничений амплитуды движения системы позиционирования огромное значение для результата обработки имеет перпендикулярность обрабатываемой поверхности образца относительно лазерного пучка. Во избежание коррозии и деградации обрабатываемой поверхности в рабочую зону подаётся инертный газ.

Второй этап – фокусирование лазерного пучка на рабочей поверхности образца. При малой мощности лазерного источника большую роль играет диаметр сфокусированного на обрабатываемой поверхности лазерного пучка. Мощность лазерного пучка как физическая величина мало информативна, так как не предоставляет правдивой информации о количестве энергии на единицу площади. Куда более информативной величиной измерения является плотность энергии, потому что здесь присутствует прямая связь между обрабатываемой поверхностью и мощностью пучка.

Третий этап - обработка поверхности образца. В мировой литературе данный этап именуется лазерным сканированием, либо лазерной полировкой. Здесь сфокусированный на обрабатываемую поверхность лазерный пучок, перемещаясь в плоскости XY, передаёт количество энергии E единице площади, переплавляя пики микронеровностей за один или несколько проходов n. Во время лазерного сканирования не только формируется новый рабочий рельеф обрабатываемой поверхности, но и устраняются оставшиеся после спекания поры и поверхностные дефекты. Происходят процессы диффузии и закалки поверхностного слоя обрабатываемого образца. Качество лазерной полировки как финишного этапа обработки в большой мере зависит от технологических параметров лазерного пучка. Потому целью данной работы является установление связи между изменением технологических параметров лазерного источника и качественными показателями обрабатываемой детали.

Высокая локальность финишной скоростной лазерной обработки поверхности спеченных ма-

териалов позволяет избежать недостатков, присущих традиционным СЛС-технологиям (термические напряжения растяжения, крупные поры, неровность поверхности и большой припуск на механическую обработку), формировать и фиксировать метастабильное структурное состояние с уникальными механическими свойствами. Последнее характеризуется более высокими значениями плотности и дисперсности внутренней структуры по сравнению с исходным состоянием материала и значительным градиентом концентраций легирующих элементов в приповерхностном слое материала.

В работе были использованы образцы прямоугольной геометрической формы (рис. 1) на основе металлического порошка со средним размером частиц 5 мкм марки DIN 1.2083, изготовленные селективным лазерным спеканием.

Табл. 1

Химический состав образцов

Порошок	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
DIN 1.2083	~0,4	≤1	≤8	0,03	0,03	~1,3	≤0,8

Во время эксперимента обрабатывалась только одна поверхность образца (рис. 1). Для спекания образцов был использован лазерный агрегат Concept laser m3. Лазерная полировка исследуемых образцов проводилась с помощью импульсного, пикосекундного лазерного агрегата Baltic HP с максимальной мощностью генерации лазерного пучка 3 Вт.

Табл. 2

Основные технологические параметры лазерного агрегата

Номер образца	Мощность, Вт	Плотность энергии FO, Дж/см ²	Скорость сканирования V, мм/с	Диаметр пучка d, мм	Количество проходов, n
а	1	39,16	7,5	0,025	1
б	1	39,16	2,5	0,025	1
в	1	39,16	5,0	0,025	1
г	2,77	108,48	7,5	0,025	1
д	2,77	108,48	5,0	0,025	1
е	2,77	108,48	2,5	0,025	1
ё	2,77	108,48	1,0	0,025	1
ж	2,77	108,48	2,5	0,025	2
з	2,77	108,48	2,5	0,025	4
и	2,77	108,48	2,5	0,025	6
й	2,77	108,48	2,5	0,025	8

Поверхностный слой образцов, обработанных лазером Baltic HP, исследован с помощью скани-

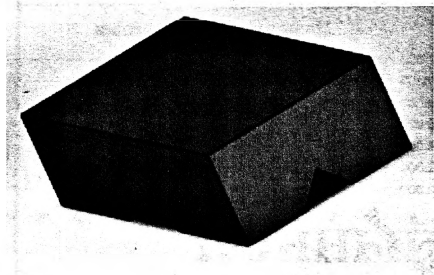


Рис. 1. Образец

рующего электронного микроскопа Hitachi 3000. Во время исследования определены параметры химического состава и топографии поверхностного слоя образцов. Установлено, что при плотности энергии $F_0 \sim 40$ Дж/см² наилучшая фактура поверхностного слоя образца получается при скорости сканирования лазера 5 мм/с при обработке одним проходом (рис. 2, в). При уменьшении скорости до 2,5 мм/с однородность фактуры поверхности снижается (рис. 2, б).

При плотности энергии $F_0 \sim 110$ Дж/см² и сканировании одним проходом наилучшая фактура поверхности достигается при скорости $V \sim 1$ мм/с (рис. 2, е). При максимальных значениях плотности энергии дополнительное введение энергии в полируемую область в виде нескольких проходов даёт положительный эффект при условии $n \leq 4$ (рис. 2, ж). После преодоления критического

барьера $n \leq 4$ в обработанной области появляются трещины (рис. 2, з). На характер возникновения и геометрическую форму трещин влияют кристаллизационные и диффузные процессы поверхностного слоя обработанного образца.

С помощью сканирующего микроскопа Hitachi 3000 с приставкой ЭДС определены химические составы обработанных образцов. На рис. 3 представлена связь между изменением основных параметров обработки на лазере Baltic HP и изменением концентрации никеля в верхнем слое обработанной поверхности. Уменьшение процентного соотношения никеля в образцах вызвано гораздо меньшей температурой плавления никеля по сравнению с железом.

При плотности энергии $F_0 \sim 110$ Дж/см² и $n \geq 4$ концентрация никеля в поверхностном слое образцов возвращается к норме. Определена шероховатость поверхностного слоя образцов, обработанных лазерным пучком (рис. 4).

Образцы, обработанные лазерной полировкой, испытаны на стандартном трибологическом стенде методом диск – палец (pin and disk). Во время эксперимента вращательное движение диска выполнял образец (рис. 1). Роль пальца выполнял цилиндрический, закалённый до 55 HRC, пруток из стали DIN 1.4034 длиной 10 мм и диаметром 3 мм.

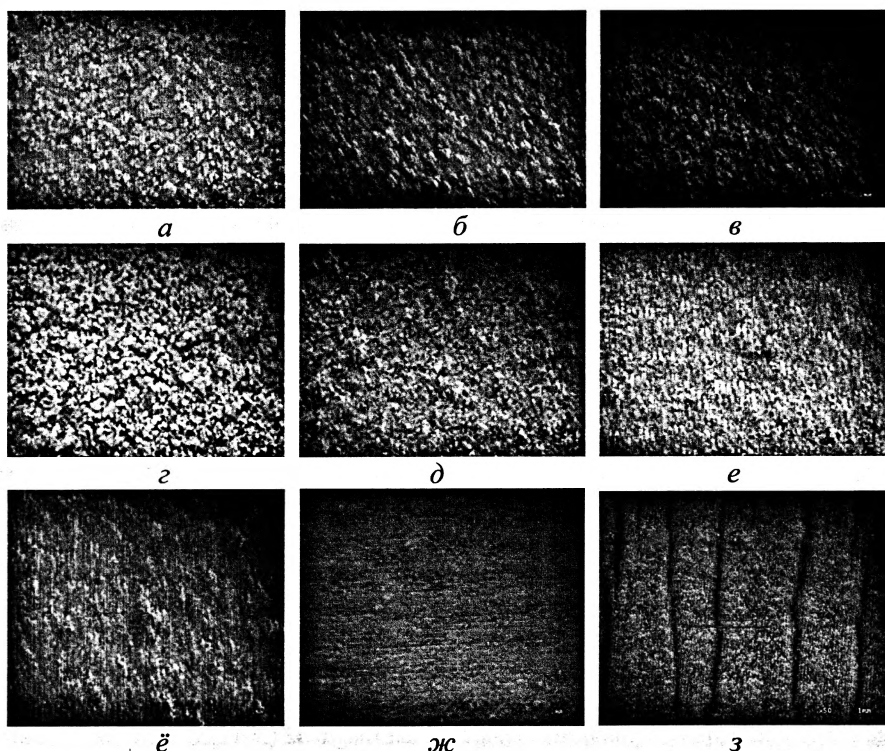


Рис. 2. Морфология поверхности образцов, соответствующих порядковым номерам в табл. 2

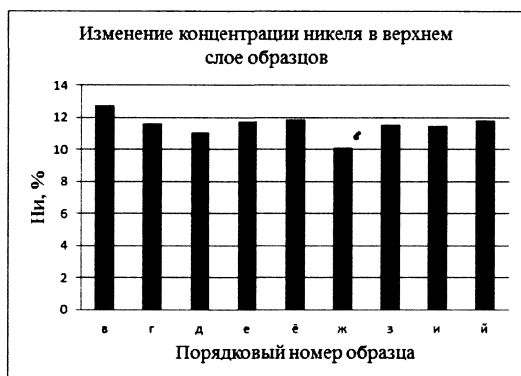


Рис. 3. Изменение концентрации никеля в верхнем слое обработанной поверхности образца



Рис. 4. Шероховатость образцов

Во время трибологического эксперимента установлены коэффициент сухого трения, изменение массы образцов и сила трения.

Табл. 3

Основные технологические параметры трибологического теста

Диск	Пруток	Скорость вращения, об/мин	Сила, Н	Смазка	Время воздействия, с	Орбита вращения диска, мм
DIN 1.2083	DIN 1.4034	300	5	Нет	1800	2

Из-за большой разницы в площади контакта между пальцем и образцом образцы с меньшими значениями шероховатости поверхностного слоя демонстрировали большие значения силы и коэффициента трения.

На диаграммах силы трения хорошо заметна прямая зависимость между силой трения и площадью контакта пальца и образца.

Список использованных источников

A. Lamikiz, J.A. Sanchez, L.N. Lopez de Lacalle, J.L Arana, Laser polishing of parts built by selective laser sintering, International journal of Machine Tools & Manufacture. 47 (2007) 2040-2050.

E. Ukar, A. Lamikiz, L.N Lopez de Lacalle, D. del Pozo, J.L Arana, Laser polishing of tool steel with CO2 laser and high power diode laser, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50 (2010) 115-125.

L. Hao, J. Lawrence, Effects of Nd:YAG laser treatment on the wettability characteristics of a zirconia-based bioceramic, Optics and Lasers in Engineering. 44 (2006) 803-814.

D. King, T. Tansey, Rapid tooling: selective laser sintering injection tooling, Journal of Materials Processing Technology. 132 (2003) 42-48.

H. Golnabi, M.H Mahdih, Trend of laser research developments in global level, Optics and Laser Technology. 38 (2006) 122-131.

I.T Perry, D. Werschmoeller, X. Li, F.E Pfefferkon, N.A Duffie, Pulsed laser polishing of micro-milled Ti6Al4V samples, Journal of Manufacturing Processes. 11 (2009) 74-81.

S. Kumar, Manufacturing of WC-Co moulds using SLS machine, Journal of Materials Processing Technology. 209 (2009) 3840-3848.

S. Kumar, J.P. Kruth, Effect of bronze infiltration on laser sintered metallic parts, Materials and Design. 28 (2007) 400-407.

S. Kumar Ghosh, P. Saha, Crack and wear behaviour of SiC particulate reinforced aluminium based metal matrix composite fabricated by direct metal laser sintering process. Materials and Design. 32 (2011) 139-145.

T. Laoui, T. Froyen, L. Kruth, Effect of mechanical alloying on selective laser sintering of WC-9CO powder, Powder Metallurgy. 42 (2000) 203-205.

Заключение

В работе установлены главные тенденции влияния изменения основных технологических параметров лазерного луча агрегата Baltic HP на механические, химические и физические характеристики поверхностного слоя деталей, изготовленных с помощью технологии СЛС.

Установлена связь между изменением основных режимов лазерной установки Baltic HP и изменением концентрации никеля в верхнем слое обработанной поверхности, а также прямая зависимость между силой трения образцов и площадью контакта прутка. Исследована шероховатость образцов.

Работа выполнена при поддержке Литовской академии наук и проекта научных исследований TAP LB 14-035 «Исследование лазерной модификации поверхности спеченных с помощью технологии SLS дисперсных порошков на основе железа».