

димых в оптический микроскоп объемных дефектов, обладают совершенной огранкой. Дисперсионный анализ выращенных в электрическом поле образцов показал стремление к однотипности и однородности структурных форм, о чем свидетельствует небольшой коэффициент вариации по размерам ($11 \div 37\%$, в зависимости от напряженности электрического поля при которой проводится кристаллизация). Выращенные в электрическом поле кристаллы неорганических солей (в работе использовали указанные выше соединения) содержат минимальное количество дефектов (например: содержание примеси положительных ионов металлов Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Pb^{2+} в нитевидных кристаллах азида серебра, выращенных в слабом бесконтактном электрическом поле напряженностью 10^{-2} В/м, оцененное эмиссионным спектральным и рентгенофлуоресцентным (исследования проводили на установке JEOL JSM-6390 LA) методами анализа, составляет примерно $2 \cdot 10^{-5}$ мольных процента против $5 \cdot 10^{-5}$ мольных процента у выращенных обычным способом; плотность дислокаций в кристаллах, выращенных в слабом бесконтактном электрическом поле напряженностью 10^{-4} В/м, определяемая методом ямок травления [5] составляет примерно $1 \cdot 10^2$ см⁻² против $(5 \div 6) \cdot 10^2$ см⁻² у выращенных обычным способом). Указанные выше свойства сохраняются вне зависимости от степени чистоты используемых реагентов, что позволило существенно упростить способ получения кристаллов. Полученные предлагаемым способом кристаллы не проявляют признаков старения в течение не менее 6 месяцев после кристаллизации в электрическом поле. Указанные выше свойства показали предпочтительность использования, как выращенных в электрическом поле, так и прошедших обработку в нем образцов для проведения физико-химических исследований, требующих большого числа измерений, а также в изделиях, требующих повышенной стабильности физико-химических свойств.

Предлагаемая в работе технология получения и обработки материалов в электрическом поле позволила не только получать образцы с улучшенными рабочими характеристиками (монодисперсность, минимальное количество дефектов, увеличенный срок хранения, регулируемый варьированием напряженности электрического поля при кристаллизации размер и т.д.), но и, для увеличения достоверности получаемых результатов, проводить параллельные эксперименты в одинаковых условиях при различных напряженностях электрического поля.

Литература.

1. Газенаур, Е.Г. Способ получения нитевидных кристаллов азида серебра / патент Рос. Федерация: RU №2404296 С1 / Е.Г. Газенаур, Н.М. Федорова, Л.В. Кузьмина, В.И. Крашенинин. – №2009125883/05; 06.07.2009; 20.11.10, Бюл. №32. – 9 с.
2. Rodzevich, A.P. On a mechanism of an electric field influence on physicotecnical specifications of materials / A.P. Rodzevich, E.G. Gazenaur, V.I. Krashenin // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – p. 154-160.
3. Rodzevich, A.P. Features of Physical and Chemical Properties of Inorganic Salts, Grown in the Electric Field / A.P. Rodzevich, E.G. Gazenaur, A.S. Walnukova, L.V. Kuzmina // The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012 – Tomsk Polytechnic University, 2012. – V.I. – P. 296-299
4. Крашенинин, В.И. Способ управления взрывной чувствительностью энергетических материалов / В.И. Крашенинин, Е.Г. Газенаур, В.Г. Гритчина, А.П. Родзевич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – Т.2. – №12. – С. 396-402.
5. Сангвал, К. Травление кристаллов: Теория, эксперимент, применение / К. Сангвал. – М.: Мир, 1990. – 492 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЯ ИЗ КОБАЛЬТХРОММОЛИБДЕНОВОГО ПОРОШКА С РАЗДЕЛЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ

*Н.А. Сапрыкина, ст. преподаватель, А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., М.С. Матрунчик, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-27-92
E-mail: saprikina@tpu.ru*

Развитие технологии послойного синтеза в машиностроении направлено на внедрение новых порошковых материалов и определение технологических режимов лазерного воздействия. При изготовлении функционального объемного изделия на основе 3D-CAD модели важной задачей является формирование слоев на разных режимах [1, 6]. Изменение режимов спекания позволяет получать

заданную шероховатость поверхности, которая является важным фактором при сцеплении смежных слоев.

Для проведения исследований был выбран кобальтхроммолибденовый порошок DSK-F75, который применяется в машиностроении для создания изделий, функционирующих при высоких температурах. Сплав имеет хорошее сочетание механических свойств: предел пластичности $0,65 \text{ кН/мм}^2$, плотность $8,4 \text{ г/см}^3$ в сочетании с умеренной твердостью. Порошок DSK-F75 имеет номинальный размер частиц $0,1 \text{ мкм}$, температуру плавления $1350\text{-}1450 \text{ }^\circ\text{C}$, каплеобразную форму частиц, химический состав: кобальт – $66,4\%$, хром – 28% , молибден – 3% , кремний, марганец, никель, углерод – менее 1% .

Рассматривалось изменение шероховатости R_z спеченного поверхностного слоя из кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 в зависимости от технологических режимов спекания – мощности лазерного излучения P , скорости V , шага сканирования лазерным лучом слоя порошка и предварительной температуры подогрева порошкового материала t . Траектория перемещения луча лазера представлена на рисунке 1. Длина спеченного образца составляла 20 мм , ширина 10 мм .

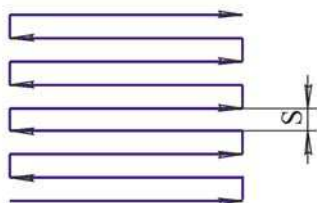


Рис. 1. Траектория перемещения луча лазера

В результате поисковых экспериментов были определены режимы непрерывного лазерного спекания, при которых спеченный образец не рассыпался, т.е. обладал некоторой механической прочностью [3]. Изменение мощности от 10 до 20 Вт позволило получить спеченный слой, обладающий некоторой механической прочностью, но наблюдалось появление коагуляции - скатывание расплавленного металла в капли [4]. При мощности более 20 Вт увеличивалась величина коагулированных частиц, образцы имели рыхлую структуру и рассыпались.

Препятствием образования единичного слоя являлось и увеличение шага сканирования свыше $0,15 \text{ мм}$. Таким же препятствием являлось назначение скорости перемещения луча лазера менее 100 мм/мин , и более 300 мм/мин . Повышение температуры подогрева порошкового материала положительно сказывалось на прочности единичного слоя.

Измерение шероховатости на профилографе -профилометре АБРИС ПМ7 и на интерференционном микроскопе NEW VIEW не дали результатов из-за высокой пористости спеченных образцов, поэтому шероховатость определялась по следующей методике: на первом этапе были подготовлены поперечные и продольные шлифы единичного спеченного слоя, как показано на рисунке 2.

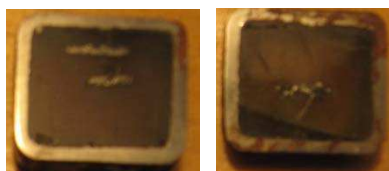
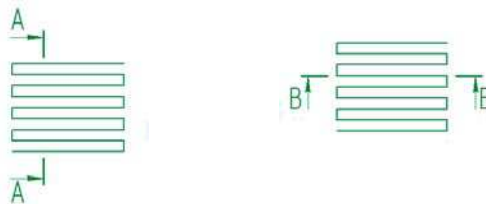


Рис. 2. Фотографии поперечных и продольных шлифов (x1)

Сечение единичного спеченного слоя осуществлялось поперек сканирования луча лазера, как показано на рисунке 3, а, вдоль перемещения луча лазера, как показано на рисунке 3, б.



а) б)
Рис. 3. Сечения единичного спеченного слоя
а) поперечное, б) продольное

На втором этапе были получены фотографии поверхности при помощи микроскопа ИМЦ $100\times 50\text{А}$ и цифровой камеры, рисунок 4.

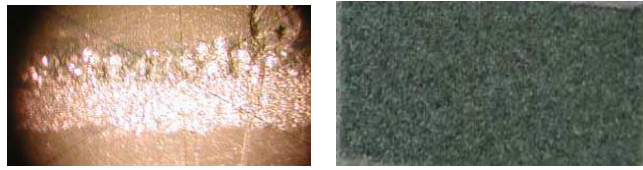


Рис. 4. Фотографии спеченной поверхности кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 (x5), режимы СЛС $P=10$ Вт, $V=300$ мм/мин, $t=200$ °С, $S=0,15$ мм, спекание на воздухе

Далее в графическом редакторе поверхность спеченного слоя была обведена линией, которая и является профилограммой поверхности, как показано на рисунке 5. Для базового участка проведена средняя линия так, чтобы сумма площадей выступов, расположенных выше средней линии была приблизительно равна площади впадин, расположенных ниже средней линии.

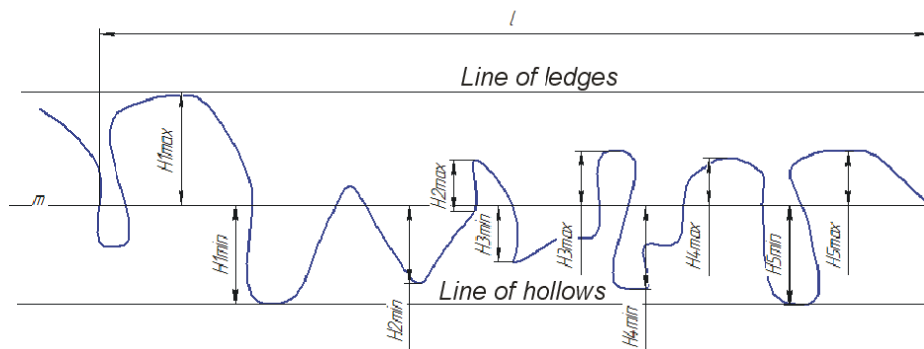


Рис. 5. Профилограмма спеченного поверхностного слоя

Затем определялось значение параметра R_z . Для этого на профилограмме в пределах базовой длины измерялось расстояния в миллиметрах пяти наибольших выступов до средней линии и пяти наибольших впадин до средней линии.

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{i\max} - \sum_{i=1}^5 h_{i\min} \right)$$

Измерения проводились несколько раз на разных участках поверхности. Определялись R_z , R_{\max} . Для определения R_{\max} на базовой длине через наибольший выступ параллельно средней линии проводилась линия выступов, а через наименьшую длину линия впадин.

Планирование и проведение полного факторного эксперимента типа 2^4 позволило получить математическую зависимость шероховатости спеченного поверхностного слоя в зависимости от технологических режимов спекания [5]:

$$R_z = 395 + 53 \cdot P + 0,9 \cdot V - t - 2400 \cdot s - 0,15 \cdot P \cdot V - 0,3 \cdot P \cdot t$$

где P – мощность излучения лазера, Вт; V – скорость перемещения луча лазера, мм/мин; S – шаг сканирования, мм; t – температура подогрева порошкового материала, °С.

Графические зависимости, построенные по данной формуле, позволили выявить наиболее значимые параметры, влияющие на шероховатость спеченного слоя, а также пределы ее изменения за счет технологических режимов спекания. Повышение скорости перемещения луча лазера со 100 до 300 мм/мин позволяет уменьшить шероховатость с 560 до 425 мкм, при $P=10$ Вт, $S=0,1$ мм, $t=26$ °С. Увеличение мощности в диапазоне от 10 до 20 Вт приводит к увеличению шероховатости спеченного поверхностного слоя R_z с 425 до 625 при скорости 300 мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=26$ °С, рисунок 6, а и увеличению R_z с 560 до 850 при скорости 100 мм/мин.

К уменьшению шероховатости спеченного поверхностного слоя R_z с 560 до 450 при $P=10$ Вт, как показано на рисунке 6, б приводит увеличение шага сканирования в диапазоне от 0,1 до 0,15 мм, при постоянной скорости $V=100$ мм/мин и температуре порошкового материала $t=26$ °С. При изменении мощности от 10 до 20 Вт, при $S=0,1$ мм R_z изменяется от 560 до 850 мкм. Таким образом, изменяя шаг сканирования можно изменять шероховатость.

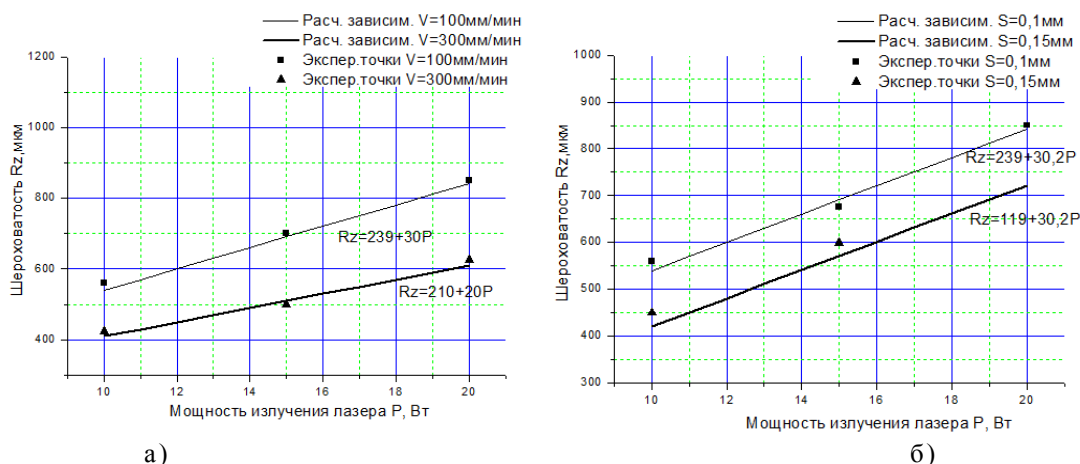


Рис. 6. Зависимости шероховатости Rz спеченного кобальтхроммолибденового поверхностного слоя от режимов спекания, при $t=26$ °C
а) зависимости Rz от P и V , при $s=0,1$ мм, б) зависимости Rz от P и S , при $V=100$ мм/мин

Данные графические зависимости показывают влияние технологических режимов лазерной обработки на изменение шероховатости Rz спеченного поверхностного слоя в значительных пределах [2]. Разделение режимов формирования поверхности изделия и его внутреннего объема на черновой, получистовой и чистовой, рисунок 7, позволит получить монолитный внутренний объем через межслойную прочность сцепления смежных слоев.

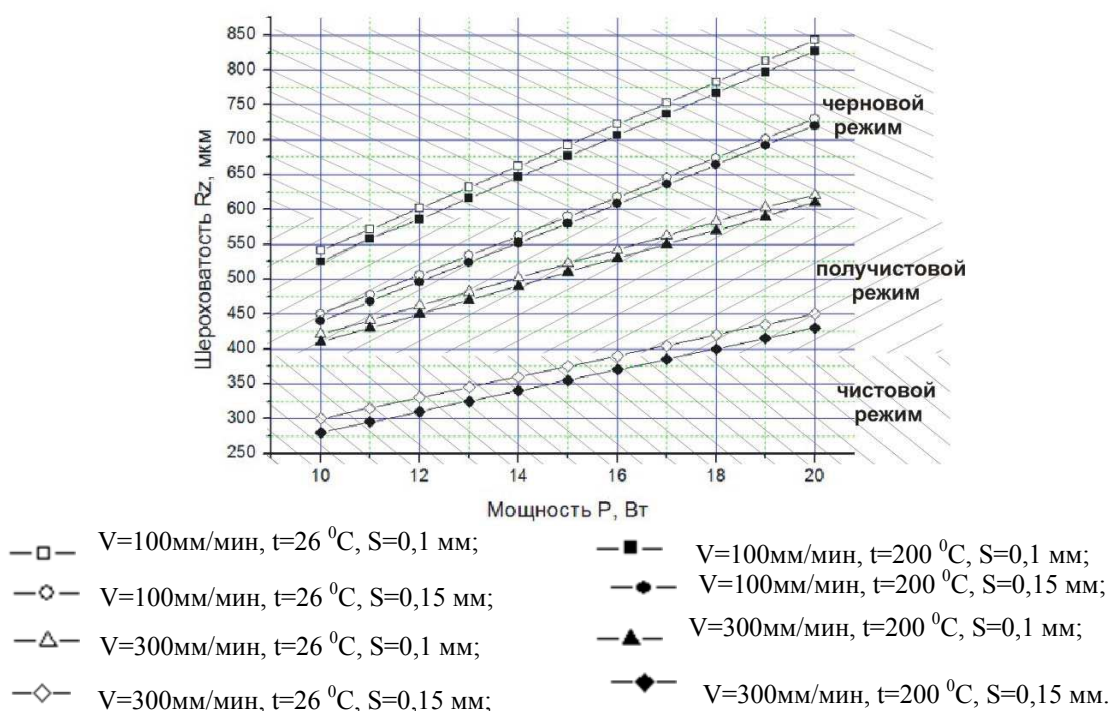


Рис. 7. Режимы спекания кобальтхроммолибденового порошка

Для создания объемного изделия, после расчленения 3D-CAD модели на слои последовательно наносим порошковый материал, на получистовом режиме формируем поддерживающий контур, затем на черновом режиме осуществляем спекание внутри него. Повышенная шероховатость спеченной поверхности, обеспечиваемая черновым режимом, положительно влияет на прочность сцепления слоев между собой. Заключительный проход по контуру на чистовом режиме обеспечивает оплавление

ние порошка точно по контуру сечения и исключает возникшие неточности при предыдущих переходах – черновом и получистовом, одновременно обеспечивая заданное качество поверхности. Процесс повторяется до полного создания изделия. Далее спеченное изделие извлекается, а не спеченный порошок можно использовать повторно.

Определены области режимов спекания кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75. Разделение режимов обработки, в зависимости от влияния технологических режимов на шероховатость спеченного поверхностного слоя позволяет повысить качество спеченного изделия и монолитность внутреннего объема.

Литература.

1. Gibson, I. B. Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker. – New York, USA, Springer, 2009. – 459 p.
2. Saprykina N.A., Saprykin A.A. Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 56-59
3. Математическая теория планирования эксперимента / С. М. Ермаков [и др.]. – М.: Наука, 1983. – 39 с.
4. Сапрыкина Н. А., Сапрыкин А. А., Яковлев В. И. Влияние механической активации металлических порошков на качество поверхностного слоя, полученного технологией послойного синтеза // Обработка металлов. – 2012. – № 4. – С. 108–110.
5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981.-184с.
6. Шишковский, И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий / И. В. Шишковский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 424 с.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.Н. Томилов, к.т.н., доцент, С.Н. Грудинин, аспирант, В.Д. Фроловский*, д.т.н., проф.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. +7(905) 9468075, e-mail:
tomilov@corp.nstu.ru*

**Новосибирский государственный технический университет
630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса 20, тел. +7(923) 2323108, e-mail: sn_grudinin@mail.ru*

1. Постановка задачи

При разработке нового изделия обязательным этапом является прототипирование. Создание качественного прототипа, максимально похожего на будущее изделие – сложная научная и практическая задача. В последнее время популярными стали технологии быстрого прототипирования – послойного синтеза макета по компьютерной модели изделия. В большинстве случаев построение прототипа происходит на основе твердотельной САД-модели или модели с замкнутыми поверхностными контурами. При этом параметризация играет ключевую роль. Параметрическое моделирование в отличие от альтернативных способов виртуализации, является менее дорогостоящей процедурой и позволяет интерактивно создавать новые модели, изменяя заданные параметры. Формально такой подход можно описать так: создание новой модели Ω за счет деформации некоторой средней базовой модели Ψ согласно набору заданных параметров ρ . Таким образом, новая модель Ω , после деформации, будет удовлетворять набору параметров ρ [1].

Объекты, имеющие сложную геометрическую форму и представляемые сеточными моделями, требуют для параметризации специализированных технологий, учитывающих информацию о форме и принятые в предметной области метрические характеристики. К таким объектам относятся и манекены, используемые при производстве одежды. Существующие САПР одежды применяются дизайнерами в основном для раскроя и позволяют рассматривать изделия только в 2D пространстве. Активно развивающиеся в последние годы системы трехмерного сканирования и базы данных прототипов реальных объектов (в том числе человека [2]) могли бы получить широкое применение в швейной промышленности, вплоть до индивидуальной кастомизации одежды. Однако этому препятствуют две проблемы. Во-первых, цены на системы сканирования зачастую слишком высоки для швейной промышленности. Во-вторых, такие системы не достаточно хорошо интегрированы с САПР одежды. Но с другой стороны, модели, полученные сканированием реальных объектов, содержат