

определения степени исчерпания запаса пластичности в ПС металла при его обработке.

В соответствии с основной гипотезой было определено, что излучение сигнала акустической эмиссии, как при резании, так и при ППД происходит из области очага деформации; при этом было установлено, что «звучит» весь очаг деформации одновременно, а импульсы с разной глубины приходят в случайном порядке. Для получения распределения импульсов по глубине поверхностного слоя было проведено ранжирование сигналов по энергии (рис. 6 и 7).

Анализ распределения АЭ импульсов показал,

что форма кривой не зависит от временного интервала, на котором производилась выборка. Поэтому в дальнейшем был рассмотрен промежуток времени, за который материальная точка проходит очаг деформации, что имеет не только физический (полный цикл исчерпания запаса пластичности), но и технологический смысл – связь с подачей инструмента и глубиной резания.

Полученные результаты были использованы при создании методики проектирования упрочняющего технологического процесса с использованием метода акустико-эмиссионного контроля [3].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Блюменштейн, В.Ю., Смелянский, В.М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.: ил.*
- Мирошин, И.В. Оценка взаимосвязей феноменологических параметров металла с сигналами акустической эмиссии [Текст] / И.В. Мирошин, О.А. Останин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – №2. С. 44-50.*
- Мирошин, И.В. Технологическое обеспечение наследуемых параметров качества при упрочняющей обработке на основе выбора рациональных режимов методом акустической эмиссии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / И.В. Мирошин – Барнаул, 2008.*

□ Автор статьи:

Мирошин  
Игорь Викторович  
- канд.техн.наук, доцент каф. технологии машиностроения КузГТУ  
Тел. 8-903-909-05-84  
Email: [imiroshin@rambler.ru](mailto:imiroshin@rambler.ru).

**УДК 621.7.002**

**Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин**

## ПОНЯТИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В условиях рыночных отношений требуется, чтобы изделия были разработаны, произведены и представлены на рынке как можно быстрее и с меньшей стоимостью. Сроки внедрения нового изделия зависят от эффективности работы на всех этапах от конструирования и проектирования до изготовления. Значительно сократить сроки можно за счет внедрения технологии послойного лазерного спекания физической копии различных объектов из порошковых материалов на основе 3D CAD-модели. Главным преимуществом данной технологии является широкий выбор модельных материалов – от пластиков до различных металлических сплавов. Области применения указанной технологии быстрого прототипирования определяются не только физико-механическими свойствами материала готового изделия-прототипа, но и достижимой точностью и качеством его поверхности. В основе этого процесса лежит термическое воздействие лазерного излучения на порошковый материал. Оно сопровождается достаточно

сложными и разнообразными по своей природе физическими явлениями, оказывающими значительное влияние на качество и точность поверхности изделия-прототипа [1].

Анализ различных источников показывает, что большинство производителей в спецификации оборудования дают такие характеристики, как точность используемых механических и оптических систем, минимальную толщину слоя изделия. В действительности эти параметры отражают технически достижимую точность, которая мало соответствует реальному положению. Также в литературе отсутствуют сведения о нормировании технологических режимов лазерного спекания и их влиянии на качество поверхности и точность изготовления изделия прототипа.

Создание методики нормирования технологических режимов послойного лазерного спекания порошковых материалов с прогнозируемостью параметров точности и шероховатости представляет собой достаточно трудную задачу. Для ре-

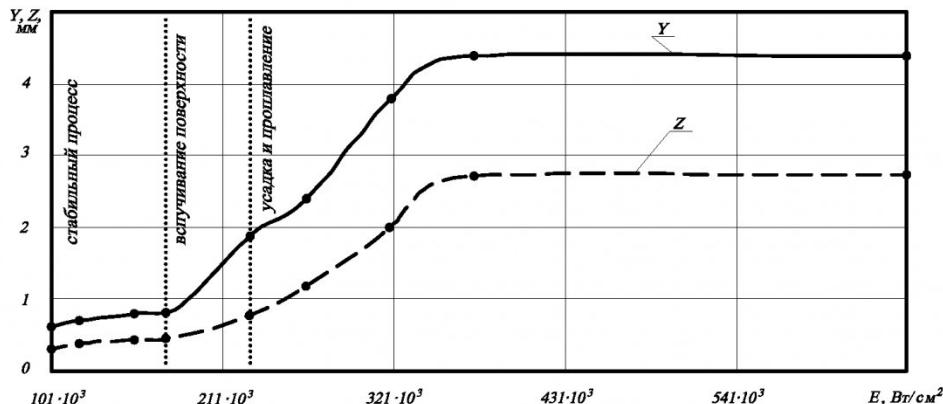


Рис. 1. График зависимости глубины и ширины спеченного слоя порошка ПМС-1 от плотности мощности лазерного излучения

шения поставленной задачи необходимо определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс и обеспечивающие качество поверхностного слоя спекаемого изделия (шероховатость

$R_a$ , погрешность обработки  $\delta_\Sigma$ ) [2]. Это толщина спекаемого слоя, плотность мощности лазерного излучения, скорость сканирования, расстояние между проходами лазерного луча, диаметр лазерного пятна, гранулометрический состав спекаемого порошка и т.д.

Теплофизические, механические, химические и др. свойства порошкового материала оказывают большое влияние на режимы спекания. Так в процессе генерации изделия-прототипа порошковый материал претерпевает два фазовых превращения (твердое–жидкое–твердое с частичной сублимацией) за очень короткий промежуток времени. Это вносит дополнительные погрешности формы и качества поверхности, т.к. при практически ударном тепловом воздействии происходит не только спекание некоторого слоя порошка, но и вспучивание насыпной поверхности.

Для определения влияния режимов лазерного воздействия на толщину и ширину спекаемого слоя порошка был проведен ряд экспериментов с использованием различных порошковых материалов. При этом изменялся параметр, принятый в лазерной технологии как основной – это плотность мощности излучения. Неизменными оста-

вались следующие параметры: диаметр лазерного пятна (0,5 мм), частота следования импульсов (5 Гц) и скорость сканирования лазерного луча (120 мм/мин).

Для проведения исследований по влиянию технологических параметров лазерного излучения и свойств конструкционного материала на толщину спекаемого слоя порошка в качестве одного из обрабатываемых материалов был выбран порошок меди ПМС-1. ПМС-1- порошок медный стабилизированный, применяется в порошковой металлургии для изготовления спеченных изделий, а также в приборостроении. Химический состав порошка представлен в табл. 1, его теплофизические свойства - в табл. 2.

После обработки данных, полученных в процессе эксперимента, составлен график изменения ширины Y и толщины Z спекаемого слоя порошковой меди в зависимости от изменения плотности мощности лазерного излучения (рис. 1).

Из графика видно, что вначале при увеличении плотности мощности лазерного излучения происходит плавное увеличение глубины и ширины слоя. Это объясняется увеличением глубины проникновения теплоты, достаточной для спекания порошка. Затем наблюдается резкое увеличение толщины и ширины спекаемого слоя. При сравнении графика и результатов наблюдения за процессом можно обратить внимание, что подъем в графике обусловлен, во-первых, вспучиванием

Таблица 1. Химический состав и насыпная плотность ПМС-1 [3]

Номинальный размер частиц, мм	Насыпная плотность, гр/см <sup>3</sup>	Cu, не менее	Sb	As	Fe	O	Pb
		%					
0,1	1,25 - 1,9	99,5	0,01	0,005	0,02	0,3	0,05

Таблица 2. Техофизические характеристики ПМС-1 (экспериментальные).

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Теплоемкость, Дж/(м <sup>3</sup> ·°C)	Коэффициент температуропроводности, м <sup>2</sup> /с
$3,6 \times 10^{-3}$	1,16	$2 \times 10^{-3}$

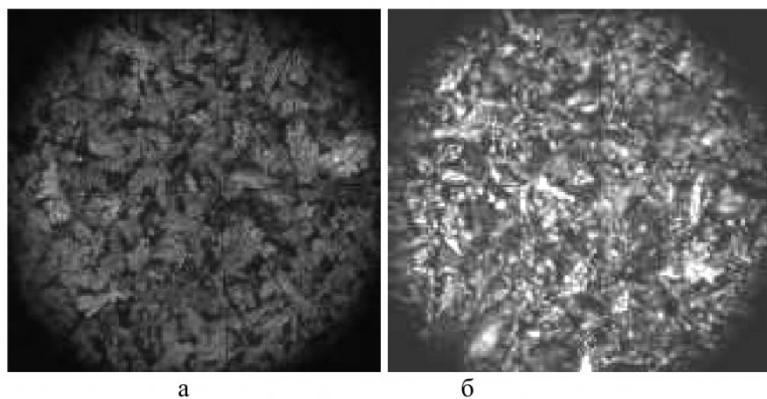


Рис. 2 .Фотографии исходных порошков ( $\times 150$ ): а – медный порошок ПМС-1; б – порошок Р6М5.

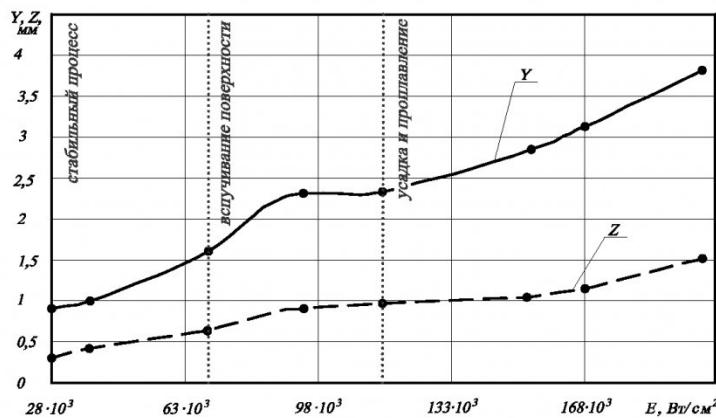


Рис.3. График зависимости глубины и ширины спеченного слоя смеси порошков (Р6М5+стиролакриловый тонер) от плотности мощности лазерного излучения

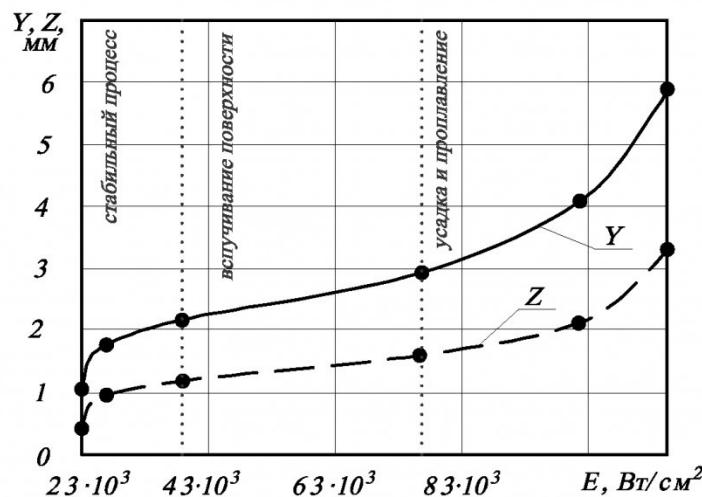


Рис. 4 . График зависимости глубины и ширины спеченного слоя смеси порошков (ПМС-1+стиролакриловый тонер) от плотности мощности лазерного излучения

поверхности, а затем образованием усадки и проплавлением. Вероятно, в данном случае сказывается резкое увеличение теплопроводности модельного материала в момент плавления. Далее процесс стабилизируется, и увеличение плотности мощности излучения не оказывает влияния на толщину и ширину спекаемого слоя порошка.

Также были проведены эксперименты по спеканию смесей порошковых материалов Р6М5, ПМС-1 (рис. 2). При их спекании в равной пропорции (рис. 3, 4) наблюдается аналогичная си-

туация, но в меньшей степени. Тонер в данном случае был добавлен как полимер для связки металлических порошков и снижения коэффициента отражения лазерного излучения.

После обработки большого количества экспериментальных данных и наблюдая почти четкую границу изменения качества поверхности спеченного порошкового материала, предлагается ввести понятие черновых и чистовых режимов спекания порошковых материалов лазерным излучением. Это позволяет, например, разделить режимы фор-

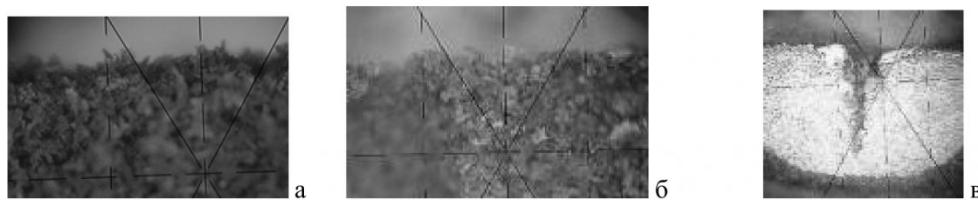


Рис. 5. Фотографии поверхности спеченного слоя порошка ПМС-1 ( $\times 150$ ): а – качественная поверхность; б – вспучивание поверхности (увеличение шероховатости); в – проплавление.

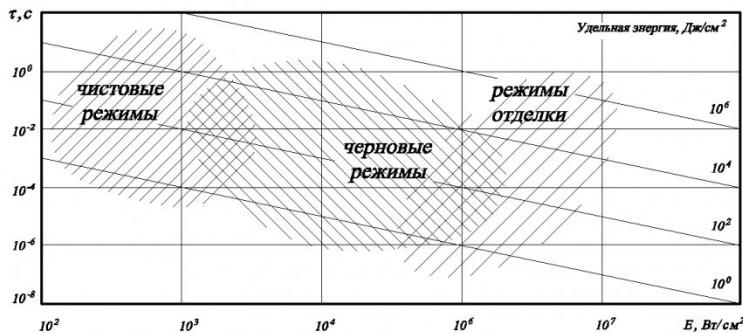


Рис. 6 .Энергетический спектр воздействия лазерного излучения на металлы при послойном лазерном спекании

мирования поверхности прототипа и его внутреннего объема. На рис. 6 представлен энергетический спектр воздействия лазерного излучения на металлы [2, 4].

На черновых режимах, более производительных, необходимо формировать основной объем изделия-прототипа. Увеличение шероховатости поверхности (вспучивание) в данном случае играет положительную роль для прочного соединения слоев между собой.

На чистовых режимах обработки производительность процесса послойного синтеза снижается значительно, но при этом отпадает необходимость или значительно снижается трудоемкость дополнительной обработки поверхности прототипа для придания ей высоких точности и качества.

Отделочная обработка может проводиться по необходимости. Режимы отделочной обработки можно назвать форсированными. Они включают в

себя высокую плотность мощности излучения с коротким временем воздействия. В результате можно добиться, в зависимости от необходимости, процесса сублимации выступов микронеровностей поверхности или плакирования поверхности прототипа.

Из сказанного можно сделать вывод, что направленное изменение свойств спеченного порошка путем разделения режимов обработки единичного слоя на чистовые для поверхности и черновые для основного объема ведет к повышению производительности процесса послойного лазерного синтеза без ухудшения качества поверхности изделия-прототипа. Для этого нужно создать методику нормирования технологических режимов послойного лазерного спекания порошковых материалов с прогнозируемостью параметров точности и качества поверхности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петрушин С. И. Сокращение сроков технологической подготовки производства путем быстрого изготовления прототипов изделий / А.А.Сапрыкин //Технология машиностроения. -2003.-№ 3(21).– С.73-76.
- Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/ Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
- Машиностроительные материалы: Краткий справочник/ В. М. Раскатов, В. С. Чуенков, Н. Ф. Бессонова, Д. А. Вейс. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
- Обработка поверхности и надежность материалов: Пер. с англ./Под. ред. Дж. Бурке, Ф. Вайса. – М.: Мир, 1984. – 192 с.

Авторы статьи:

Сапрыкин  
Александр Александрович  
- канд.техн.наук, доцент, зав.каф.  
МЧМ (Юргинский технологический  
институт (филиал) Томского политехнического университета)  
E-mail: nat\_anat\_sapr@mail.ru

Сапрыкина  
Наталья Анатольевна  
- ст. преп. каф. МЧМ (Юргинский  
технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университе-  
тата)  
E-mail: nat\_anat\_sapr@mail.ru