

3. Ваксер Д.Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании. – М.: «Машиностроение», 1964. – 124 с.
4. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б Основы техники псевдооживления. – М.: Химия, 1967. – 664 с.
5. Дубов Г.М. Повышение работоспособности отрезных шлифовальных кругов на основе использования шлифовальных зерен с контролируемой формой: Дис. канд. техн. наук. – Кемерово, 2004. – 163 л.
6. Зайцев А.Г. Влияние формы алмазного зерна на износостойкость круга при шлифовании твердых сплавов// Вестник машиностроения. – 1975. – № 2. – С. 76–77.
7. Коротков А.Н., Баштанов В.Г. Анализ формы абразивных зерен// Вестник КузГТУ. – 2000. – №5. – С. 54–60.
8. Коротков А.Н., Люкшин В.С. Эксплуатационные свойства шлифовальных шкур из зерен с разной формой// Труды XIV научной конференции, посвященной 300-летию инженерного образования России. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2001. – С 74–76.
9. Коротков А.Н., Цехин А.А. Влияние формы шлифовальных зерен на износ и режущую способность шлифовальных инструментов// Вестник КузГТУ. – 1999. – № 2. – С. 61–62.
10. Коротков А.Н., Шатко Д.Б. Влияние формы абразивного зерна на эксплуатационные характеристики лепестковых кругов// Обработка металлов. – 2005. – №2(27). С. 37–39.
11. Коротков А.Н. Эксплуатационные свойства абразивных материалов. – Монограф. Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 122 с.
12. Мацуи. Механизм резания абразивными зёрнами. Пер. с яп. – Какай-мокэнкю, 1971, 23, №12. – С. 1611–1616.
13. Мурдасов А.В., Хшиво Л.Н. Свойства абразивных зерен в зависимости от их формы// Тр. Уральского фил. Всес. н.-и. ин-та абразивов и шлифования, 1968. – сб. 1. – С. 22–27.
14. Нетребко В.П., Коротков А.Н. Прочность шлифовальных кругов. – М.: Агентство Российской печати, 1992. – 104 с.
15. Резников А.Н. Краткий справочник по алмазной обработке изделий и инструментов. – Куйбышев, Куйбышев. кн. изд-во, 1967. – 201 с.
16. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: «Машиностроение», 1981. – 279 с.
17. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004610227. Программа для расчета коэффициента формы шлифовальных зерен (Programm) / В.С. Люкшин, Н.А. Алехин. – №2003612419; Заявлено 21.11.03; Оpubл. 20.01.04.
18. Opitz H., Peklenik I., Brückner K. Untersuchung der Eigenschaften von Schleifkörpern und ihr Verhalten im Schleifvorgang. – „West. Verlag“, Köln und Opladen, 1964.
19. Thormahlen K.H. Einfluß der Kornform auf das Schleifverhalten von Kunststoff Schleifscheiben// Ind. Anz., 1973. – №108. – S. 267–271.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ПОРОШКА НА ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ SLS-МЕТОДОМ

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., зав. кафедрой, Е.А. Ибрагимов, ст. преподаватель,
В.И. Яковлев*, к.т.н, доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

**Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова*

E-mail: egor83rus@tpu.ru

Введение

На сегодняшний день понятие «спекание порошка» выходит далеко за рамки порошковой металлургии. Развитие методов послойного и построчного синтеза готовых прототипов и функциональных изделий из порошковых материалов позволяет внедрять данные технологии в различные сферы деятельности, начиная от легкой и заканчивая военной промышленностью и медициной.

Во всем многообразии методов послойного синтеза особое место занимает метод послойного лазерного спекания (Selective laser sintering – SLS) [1]. Суть данной технологии заключается в том, что мелкодисперсный порошковый материал, либо смесь материалов подвергают тепловой лазерной

обработке, в результате которой происходит синтез материалов со сложной структурой. Данная технология позволяет быстро создавать либо прототип детали, либо деталь с заданными функциональными свойствами практически из любых материалов, любой геометрической сложности.

Так как строительным материалом в данной технологии является порошок, то можно предположить, что его первоначальные физико-химические свойства непосредственно определяют технологические режимы и условия при которых будет проходить синтез изделия. К таким свойствам относятся: гранулометрический состав, форма частиц, температура плавления, теплопроводность материала и др. Одним из способов изменения начальных свойств порошка является его предварительная активация методом механоактивации [2, 3].

Процессы, происходящие при механоактивации, достаточно полно описаны в работах [4, 5]. С определенными допущениями можно сказать, что метод механоактивации сводится к внедрению точечных дефектов в структуру материала, накоплению дислокаций, увеличению площади поверхности контакта под действием внешних механических сил.

Методы и оборудование экспериментального исследования

Было предложено проанализировать влияние предварительной механоактивации металлического порошка на изменение его структуры, насыпной плотности и характера спекания SLS-методом. Обработке подвергались порошки двух марок: ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) и ПНК-УТ1 (ГОСТ 9722-97).

Механоактивацию проводили в планетарной шаровой мельнице. В водоохлаждаемый размольный стакан засыпали порцию порошка вместе со стальными шариками. Время активации порошка ПМС-1 составило 1,5 и 3 минуты; ПНК-УТ1 составило 1, 2 и 3 минуты.

Изменение структуры порошка наблюдали при помощи металлографического микроскопа ЛабоМет-1.

Изменение насыпной плотности порошков проведено методом «Воронки» [6].

Спекание SLS-методом проводили на экспериментальной установке послойного лазерного спекания оригинальной конструкции «ВАРИСКАФ-100», позволяющей регулировать все технологические параметры процесса спекания. Установка представляет собой технологический лазерный комплекс формирования поверхностей деталей сложной пространственной формы.

Изготавливались образцы квадратной формой со сторонами 10 мм и толщиной 5 мм. Технологический режим спекания образцов задавался следующими параметрами: мощность излучения лазера для порошка ПМС-1 составляла 15 и 30 Вт; для порошка ПМК-УТ1 – 15; 30; 45; 60 Вт; скорость сканирования менялась в диапазоне 2000–3000 мм/мин.; шаг сканирования (x, y, z) 0,2 мм; начальная температура порошка 27°C. Все образцы порошков спекались в защитной среде аргона. В качестве подложки использовалась стальная пластина.

Результаты и обсуждение

В результате предварительной механоактивации порошка наблюдается значительное изменение насыпной плотности порошка, как никеля, так и меди (рис. 1). Структура порошков представлена на рисунках 2 и 3.

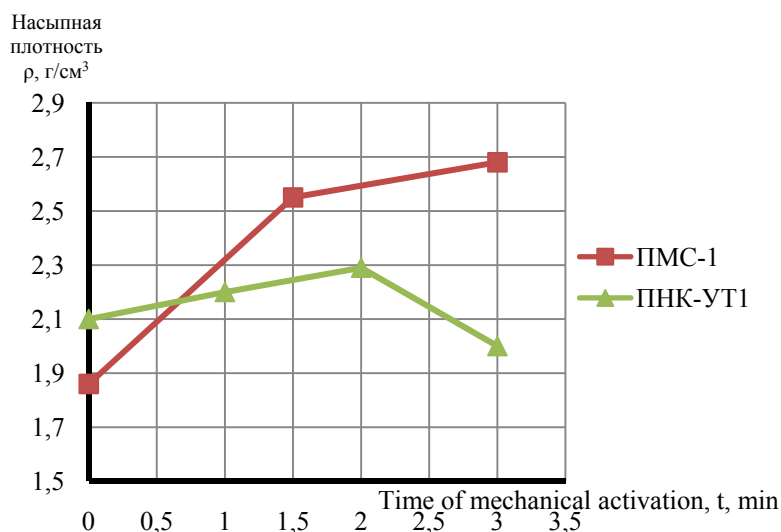


Рис. 1. Изменение насыпной плотности порошков

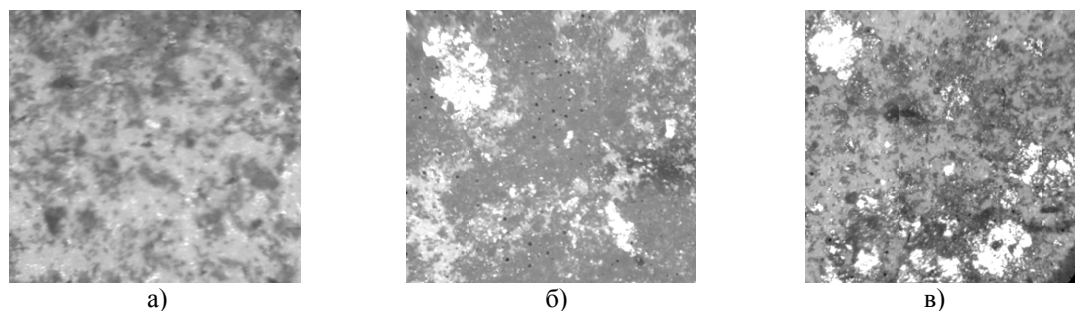


Рис. 2. Структура порошка ПМС-1 ($\times 40$)
а) неактивирован, б) активация 1,5 мин, в) активация 3 мин

Из рис. 3. видно, что с увеличением времени активации порошка ПМС-1 увеличивается и количество крупных металлических уплотнений пластинчатой формы. Этим можно объяснить и соответствующее увеличение насыпной плотности порошка.

При активации порошка ПНК-УТ1 в начальный момент времени наблюдается увеличение насыпной плотности, а после 2 минут обработки некоторое уменьшение (рис.1). При анализе снимков (рис.3), видно что в начальный период обработки формируются металлические укрупнения пластинчатого типа, а после 2 минут обработки, они исчезают.

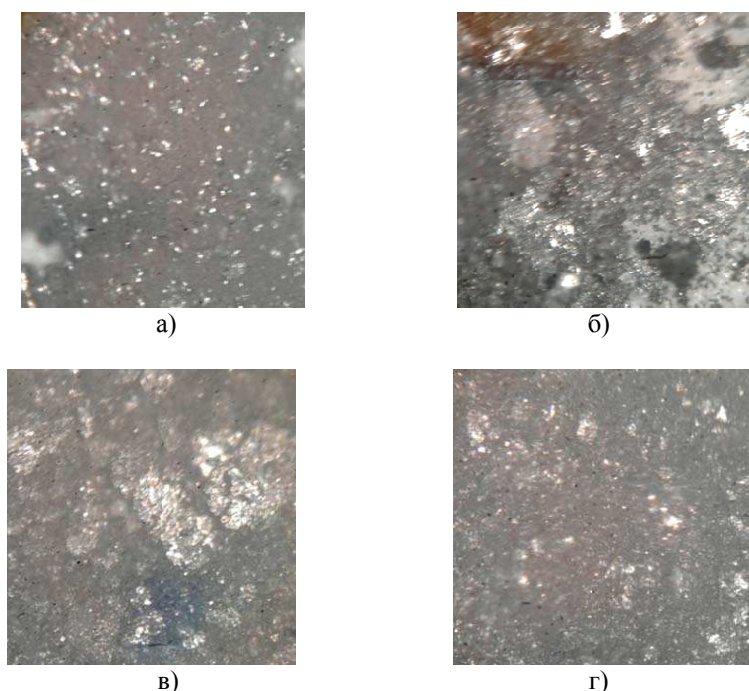


Рис. 3. Структура порошка ПНК-УТ1 ($\times 40$)
а) неактивирован, б) активация 1 мин, в) активация 2 мин, г) активация 3 мин

Подобные наблюдения можно встретить в работах [7, 5]. В начале активации преобладает процесс образования дефектов, концентрация которых в объеме материала частиц возрастает, активность частиц возрастает (происходит пластическая деформация частиц, образуются укрупнение частиц). При достижении некоторого предельного значения дефекты и поля напряжений начинают релаксировать, и при дальнейшей обработке частицы начинают вновь измельчаться за счет разрушения.

При спекании образцов из предварительно активированных порошков особенно значительные изменения наблюдались у порошка марки ПМС-1 при мощности лазера 30Вт. Спеченные образцы представлены на рисунке 4.

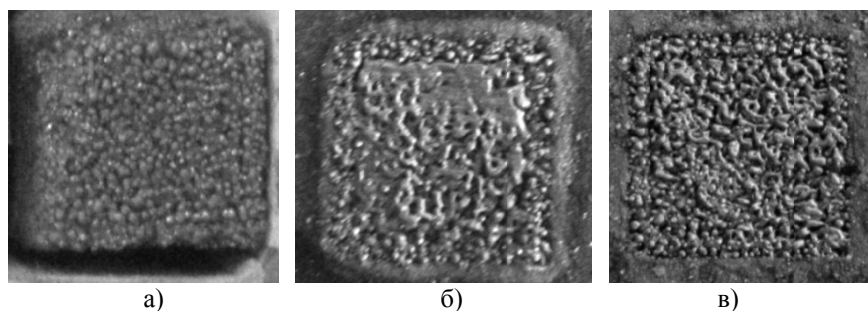


Рис. 4. Спеченные образцы при мощности лазера 30 Вт
а) неактивирован, б) активация 1,5 мин, в) активация 3 мин

Образцы без предварительной активации (рис 4, а) получились очень хрупкими и разрушались при незначительном воздействии на них, осыпались, крошились. Образцы после предварительной активации (рис. 4, б, в), напротив, оказались достаточно крепкими, осыпания краев не наблюдалось, разрушались при значительном внешнем воздействии на них. Так же необходимо отметить, что в момент формирования образца (рис. 4, б) визуально наблюдались процессы, как спекания, так и сплавления частиц порошка, причем зона сплавления преимущественно наблюдается во второй половине периода формирования слоя. Можно предположить что данный эффект связан как с увеличением насыпной плотности материала, так и увеличением его теплопроводности, что приводит к более быстрому нагреву области сканирования до температуры плавления материала. Однако данное предположение требует ряда дополнительных исследований.

При спекании порошка марки ПНК-УТ1 характерных отличий визуально обнаружено не было, лишь незначительно увеличилась пористость спеченных образцов.

Выводы

Проведенные эксперименты показали, что механоактивация порошков приводит к укрупнению их частиц, и, как следствие, к увеличению насыпной плотности материала. Так же исследования показали, что существует некоторое оптимальное время механоактивации порошков, превышение которого ведет к снижению эффектов активации. Например, для порошка марки ПМК-УТ1 это время составило порядка 2 минут.

Механоактивация порошка марки ПМС-1 в течении 1,5 минут значительно изменила физико-химические свойства порошка, что подтверждается возникновением процессов спекания и сплавления частиц при формировании спеченного слоя образца.

Таким образом, можно сделать вывод, что механоактивация порошковых материалов для SLS может оказывать существенное влияние на свойства и структуру спеченного материала, а также на технологические условия и режимы при синтезе изделий методом селективного лазерного спекания.

Литература

1. Galenko P.K., Danilov D.A. Local nonequilibrium effect on rapid dendritic growth in a binary alloy melt // Phys. Lett. A. – 1997. – V. 235. – P. 271-280.
2. Сапрыкин А.А., Сапрыкина Н.А., Яковлев В.И., Попова А.А. Влияние механической активации металлических порошков на качество поверхностного слоя, полученного технологией послойного синтеза // Обработка металлов. – 2012. – №4. – С. 108-111.
3. Saprikin A.A., Saprikina N.A. Increasing of the efficiency of layer laser sintering of powder materials // Beam Technologies and Laser Application: Proceedings of the seven international scientific and technical conference. – SPb.: Publishing house SPbSPU, 2012. – 150 с.
4. Авакумов Е.Г. Механические методы активации в переработке природного и техногенного сырья / Е.Г.Авакумов, А.А.Гусев; Рос. акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т хим. тв. тела и механохимии. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2009. – 155 с.
5. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. – 2006. – №75. – С. 203-216.
6. ИСО 4490-78 Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла). – М.: Издательство стандартов, 2001. – 10 с.
7. Малкин А.И., Киселев М.Р., Клюев В.А., Лознецова Н.Н., Топоров Ю.П. Влияние механоактивации на теплоемкость порошкообразного вольфрама // Письма в ЖТФ. 2012. – том 38. – №11. – С. 26-30.