

и абразивной составляющих, технологии его получения, зернистости и других факторов.

Вывод: сопоставление строения частиц ФАП и его физических свойств показывает, что эти характеристики имеют тесную связь и определяют эффективность процесса MAO. Керметная технология получения порошков Ж-15 КТ обеспечивает интенсивный съём обрабатываемого металла и качество обработанной поверхности.

#### Список использованных источников

1. Акулович, Л.М. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2013. – 372 с. : ил.
2. Акулович, Л.М. Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей/Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев, В.Я. Лебедев.- Минск : БГАТУ, 2012. – 316 с. :ил.
3. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 172 с.

УДК 331.45

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Магистрант – Протько В.А., ФТС*

*Научный руководитель – Андрушевич А.А., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Пористые материалы, полученные в результате спекания дисперсных компонентов (порошков, волокон) или другими способами (литьём, вспениванием, полимеризацией и др.), образуют совокупность большого числа взаимосвязанных пор, характеризующихся различными размерами, формой и распределением. Пористые изделия, изготовленные по литейным технологиям, отличаются от других оптимальным соотношением структурных, гидродинамических и механических свойств, долговечностью и способностью к регенерации, при относительной дешевизне и не дефицитности исходных компонентов [1]. Однако с развитием технологий традиционные методы отходят на второй план, а на смену им приходят более про-

изводительные аддитивные металлургические технологии (AM) 3D-печати для получения изделий самой различной конфигурации.

Быстрое развитие технологии 3D-печати в последние годы не только сделало её доступной, но и позволило создать новые типы аддитивного и гибридного производства. Новые технологии оказывают заметное влияние на промышленность и ремонтное производство [2]. В частности, внедрение 3D-печати преобразует способы проектирования, изготовления, и эксплуатации и ремонта изделий. Развитие технологий открыло путь к созданию более экологичных, легких и безопасных изделий, а также к снижению себестоимости и сокращению сроков подготовки производства.

Широкое промышленное применение получили технологии FDM, SLM и DMLS, каждая из которых основана на плавлении металлического материала [2, 3]. Использование этих технологий дает возможность сформировать структуру пор, благоприятную для фильтрации очищаемых сред, шумоглушителей и конкурировать с пористыми металлами, изготовленными методами порошковой металлургии и традиционными методами литья. 3D-печать представляет особый интерес тем, что возможно получение деталей с пористостью, которая будет достаточно легко регулироваться в широком интервале. Изготовленные пористые материалы предусматривают в заготовках или деталях открытые и закрытые поры.

Рынок AM технологий стремительно растет и изменяется. Перспективность AM основывается на ряде преимуществ и позволяет сократить на 30% затраты, связанные с приобретением исходных материалов, повысить производительность на 25 -30%, снизить себестоимость на 30% по сравнению с ранее используемыми технологиями [4].

Металлический расплав получают с помощью высокочастотных лазеров высокой мощности, лазер работает на полную мощность (5-10 кВт по электроэнергии) все время, пока происходит формирование изделия. Наиболее распространенным порошком является марка d50 – это когда 50% частиц или более будут меньше определенного диаметра. Это позволяет более детально проработать мелкие элементы детали и тем более гладкую поверхность можно получить у конечной детали. Рабочий слой металлического порошка примерно равен 0,1-0,2 мм. Для того чтобы сформировать ровные слои, толщиной около 100 мкм, необходима прецизионная механи-

ка и специальные монофракционные сферические порошки, применяемые, например, для порошковой наплавки. Размер применяемых металлических частиц напрямую зависит от пористости, которую стремятся получить в конечном изделии. В качестве рабочей основы использовался порошок алюминиевого сплава марки АК12 (ГОСТ 1583-93), который прошел измельчение и просев ( $d_{50}=50$  мкм). Технология печати - SLM (выборочное лазерное плавление) и принтер фирмы VADER System модели Mark 1 с потребляемой мощностью 5 кВт, размерами рабочей камеры 230x270x200 мм, а скорость печати составляет 2 см<sup>3</sup>/мин.

При изготовлении деталей литём с пропиткой наполнителя полученные свойства находятся в определенных пределах: плотность (0,05-0,22) г/см<sup>3</sup>; размер пор (0,05-2) мм; твердость (43-55) НВ [5].

На сегодняшний день 3D-печать вполне конкурентоспособна относительно применяемых литейных технологий. В таблице приведены основные свойства алюминиевых пористых изделий, полученных 3-D печатью.

*Таблица*

Основные свойства алюминиевых пористых изделий,  
полученных 3-D печатью

Тип заготовки	Фильтр	Панель
Процесс производства SLM	Порошок d50 АК12	Порошок d50 АК12
Плотность (г/см <sup>3</sup> )	0,45 – 0,62	0,55-0,80
Вид пор	Открытые	Закрытые
Размер пор, мм	0,05 – 1	1 - 2
Масса изделия, кг	0,1	0,2
Твердость, НВ	50-55	58-62

На рисунке представлена микроструктура пористого алюминиевого образца, напечатанного с помощью 3D принтера, с закрытой пористостью.

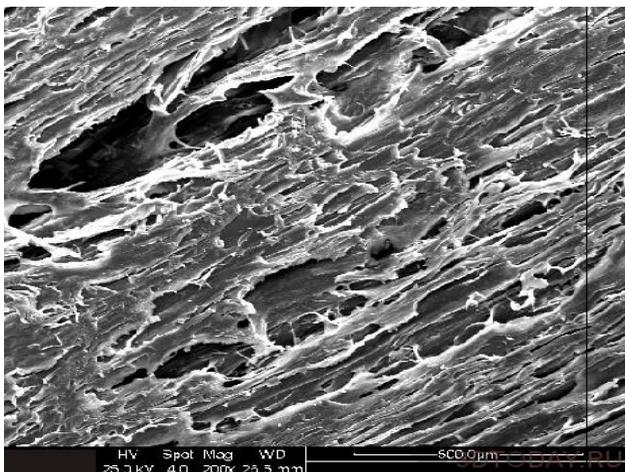


Рисунок – Микроструктура пористого образца, напечатанного с помощью 3D принтер по технологии SLM, под 200-кратным увеличением

Микроструктура характеризуется тем, что кристаллы при лазерной плавке с 3D-принтером более мелкие и расположены в виде сетки, что является достоинством по сравнению с литой структурой. При изготовлении заготовки детали методом литья приходится проводить дополнительную термическую обработку для получения нужной структуры, а при аддитивном оплавлении эта обработка отсутствует. Вторым достоинством является отсутствие усадочных раковин, что тоже немаловажно.

В результате экспериментов видно, что появляются возможности получения пористых литых изделий с размерами пор до 0,05 мм. При этом достигается большая равномерность порораспределения с меньшим образованием закрытых пор в формируемом материале (в 3,5 - 5,0 раза). К порошкам для 3D печати предъявляются более высокие требования, так как порошки низкого качества обладают худшей текучестью при формовании наносимого слоя. Это является важным и может привести к отклонению от сферичности и шероховатости поверхности зерен порошка, что отрицательно сказывается на поверхностном слое получаемого изделия.

Для массового выпуска пористых литых изделий сравнительно простых форм, в обозримом будущем, по-прежнему будут применяться традиционные производственные технологии. Проведенные исследования показали возможность применения аддитивных металлургических технологий для получения пористых материалов на

основе алюминия, для изделий конкретного назначения при производстве эксплуатации и ремонте деталей сельскохозяйственной техники (сложные корпусные изделия, теплоизоляторы, фильтры, шумопоглотители и т.п.).

Аддитивное производство открывает совершенно новые возможности в плане конструирования и изготовления определенных изделий более сложной конфигурации и облегченной массы. Соответственно для производственных и ремонтных целей агропромышленного комплекса применение АМ в ряде случаев совершенно оправданно, однако наработка производственного опыта требует дополнительных затрат времени и ресурсов.

#### Список использованных источников

1 Ян Ларсен. Журнал «машиностроение и смежные отрасли» Аддитивное и гибридное производство и применением 3D-печати. 2015 г., №3, с. 26-28.

2 Интернет ресурс: 3DPг.ру Энциклопедия 3-D печати «Материалы для 3D-печати» 20.12.2012.

3 Электронный ресурс: свободная энциклопедия «Википедия» <https://ru.wikipedia.org>.

4 Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутьлина. – СПб, 2013. с. 78.

5 Капцевич, В.М. «Пористые порошковые материалы: история создания современное состояние и перспективные разработки» – Минск. – 2010. – 320 с.

УДК 621.899

### **ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ, ПРИСУТСТВУЮЩИХ В МОТОРНЫХ МАСЛАХ, ПРИ ГЛУБИННОМ ФИЛЬТРОВАНИИ**

*Студент – Богданович Т.А., 3 мот, 2 курс, ФТС*

*Научные руководители – Капцевич В.М., д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой;*

*Корнеева В.К., старший преподаватель*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Осаждение частиц в пористой среде описывается экспериментально установленной зависимостью Ивасаки [1]: