

стиц в плазменном потоке, часть из которых будет направляться обратно к мишени электрическим полем анода, бомбардируя ее и выбивая все новые атомы. Это позволит увеличить зону эрозии мишени, и, как следствие, повысить степень ее выработки.

Все вышеописанные предложения по модернизации оборудования для импульсно-лазерного напыления в вакууме позволят не только повысить производительность процесса, но и значительно улучшить свойства формируемых покрытий. Поэтому, в дальнейшем, при выполнении дипломного проекта, предлагается разработать вакуумную установку для ИЛН, реализующую все предложенные этапы модернизации.

Список использованных источников

1. Инженерно-педагогическое образование в XXI веке : материалы республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 25 ноября 2022 г. / Белорус. гос. технич. ун-т ; редкол.: А. М. Малярович [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022 (в печати).

2. Устройство для лазерно-плазменного напыления : полез. модель RU93583U1 / О. А. Новодворский, Е. В. Хайдуков, А. А. Лотин. Оpubл. 27.04.2010.

УДК 621.762.5

Аддитивные 3D технологии выращивания деталей из чистой меди

Роуба М. О., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: к.т.н., доцент Вегера И. И.

Аннотация:

Рассматриваются методы 3D-печати чистой медью. Рассмотрены преимущества и недостатки приведенных методов.

3D-печать позволяет более эффективно использовать медь сокращая количество отходов производства, поскольку при этом используется только то количество материала, которое необходимо для каждой детали. Для компаний, заинтересованных в 3D-печати медью, снижение затрат на сырье имеет решающее значение [1].

3D-печать может предложить множество преимуществ за счет послойного изготовления. Однако чистая медь по-прежнему является сложной задачей из-за проблем, вызванных высокой теплопроводностью меди. По сравнению с традиционными методами изготовления, такими как литье металла, сварка и механическая обработка, 3D-печать позволяет изготавливать более оптимизированные и сложные медные детали без использования дополнительных инструментов. Сегодня 3D-печатные медные радиаторы охлаждают процессоры, а 3D-печатные медные катушки повышают производительность электродвигателей. Методы последующей обработки, такие как абразивная полировка и горячее изостатическое прессование (ГИП), могут улучшить физические свойства печатных медных деталей. Но из-за высокой теплопроводности меди происходит быстрое рассеивание тепла, что приводит к расслаиванию, скручиванию слоев и разрушению деталей.

Существует несколько методов 3D-печати чистой медью. Один из них – это селективное лазерное плавление. Это довольно широко используемый метод аддитивного производства металлических изделий. Процесс печати начинается с распределения металлического порошка тонкими слоями по всей рабочей поверхности. Затем лазер сканирует сечение слоя и происходит опускание плиты на глубину колодца, которая соответствует толщине слоя. Это все повторяется до тех пор, пока необходимая деталь не будет полностью построена.

Хотя метод селективного лазерного плавления подходит для многих материалов, от металлов до полимеров и керамики, обработка материалов с высокой теплопроводностью и высокими температурами плавления, такими как чистая медь, по-прежнему проблематична. Помимо проблем с быстрым рассеиванием тепла, отражательная способность меди по отношению к обычному лазерному излучению в ближнем ИК-диапазоне очень высока, что приводит к низкому выделению лазерной энергии в материалах для процесса плавления. Однако печатные детали при селективном ла-

зерном плавлении имеют высокую относительную плотность (99,6 %) и хорошие физические характеристики с электропроводностью 88 %, пределом прочности на разрыв 149 МПа и теплопроводностью 336 Вт/мК.

Второй метод – электронно-лучевая плавка. Подобно селективному методу, электронно-лучевая плавка также является распространенным процессом на основе порошкового слоя, используемым для изготовления высокоплотных деталей из различных металлов. Главное отличие заключается в использовании электронных излучателей вместо лазеров в качестве источников энергии для плавки. В основе технологии лежит использование электронных пучков высокой мощности для сплавления металлического порошка в вакуумной камере с образованием последовательных слоев, повторяющих контуры цифровой модели. В отличие от технологий спекания, электронно-лучевая плавка позволяет создавать детали особо высокой плотности и прочности. Из-за быстрого плавления / затвердевания медного порошка детали, изготовленные электронно-лучевой плавкой, имеют много проблем в процессе плавления, таких как термические остаточные напряжения и термическая деформация. Эти проблемы можно свести к минимуму с помощью правильно спроектированных анкеров или опорных конструкций, которые рассеивают тепло и предотвращают деформацию детали. Также детали произведенные данным методом имеют небольшую шероховатость из-за ограниченной точности [2].

Третий метод – ультразвуковое аддитивное производство. Это производственный метод с использованием тонкой металлической фольги или лент в качестве сырья для изготовления трехмерных деталей. В этом методе ультразвуковая волна и механическое давление применяются к металлическим лентам при комнатной температуре, чтобы диффузионно склеить поверхности уложенных друг на друга лент. В процессе изготовления во внутренней структуре материала могут образовываться пустоты, что снижает электрические и механические характеристики. Кроме того, сварка медных лент обычно затруднена из-за проблем с затвердеванием и окислением материала, что приводит к необходимости использования в процессе большой мощности.

Список использованных источников:

1. Электронно-лучевая плавка (EBM) [Электронный ресурс]: Информационный ресурс 3D-принтеры сегодня! – Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/EBM_print.
2. Селективное лазерное плавление (SLM) [Электронный ресурс]: Информационный ресурс 3D Print Expo – Режим доступа: <https://3d-expo.ru/article/selektivnoe-lazernoe-plavlenie-slm-81868>.

УДК 621.745

Вакуумные печи для плавки чистых и особо чистых металлов

Савчук Д. О., студент

Ляховская Д. В., студент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: к.т.н., доцент Вегера И. И.

Аннотация:

Вакуумные печи стали более популярными и обеспечивают растущую надобность в надежном и чистом материале. Только в вакуумных печах можно получить различные конструкции и изделия, которые невозможно изготовить в иных условиях.

Вакуумная плавка – это плавка металлов и сплавов под пониженным давлением, которая позволяет эффективно очищать металл от примесей цветных металлов и неметаллических включений, газов (азота, кислорода и водорода); успешно используется в производстве металлов для специальных изделий. Эту плавку осуществляют в вакуумных электропечах.

Вакуумная печь – это приспособление, которое используется для достижения высокой температуры внутри системы. Это делается для того, чтобы достичь лучших условий для плавки металла в вакууме с использованием электрической энергии.