

УДК 669

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

¹В. Миронов, ¹П. Станкевич, ²И. Бойко, ³М. Кольбе

¹Лаборатория порошковых материалов, Рижский Технический Университет,

²Институт Технологии Машиностроения, Рижский Технический Университет,
г. Рига, Латвия

³Высшее техническое училище Западной Саксонии. Институт машиностроения
г. Цвиккау, Германия

В настоящей работе рассмотрены электрофизические аспекты получения, обработки и удаления металлических покрытий с использованием импульсного электромагнитного поля (ИМП). Показаны результаты исследований влияния основных параметров ИМП, а также свойств материалов основы и покрытия на эффективность процесса. Особое внимание уделено методам получения покрытий из медной фольги, а также технологии удаления медных напыленных покрытий. Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании в Рижском техническом университете и в Высшем техническом училище Западной Саксонии (Цвиккау, Германия).

In the present work the electro-physical peculiarities of producing, machining and destroying of metallic coatings by using pulse electromagnetic field (PEMF) are examined. The results of research on the influence of PEMF parameters, base material and coating material on the effectiveness of the coating process are offered. The emphasis is on producing of coating from the copper foil and destroying of sprayed copper coatings. Experiments were done in Riga Technical University (Riga, Latvia) and West-Saxony Technicall School (Zwickau, Germany).

Введение

Среди многочисленных методов нанесения металлических покрытий на металлические поверхности известны методы, использующие воздействие импульсного электромагнитного поля (ИМП). Особый интерес представляют методы магнитно-импульсной сварки (МИС) и формования трубчатых деталей [1, 2], магнитно-импульсного прессования порошков (МИПП), нанесения и обработки порошковых покрытий [3], сборочные операции в ИМП. Данные методы позволяют использовать высокоинтенсивные ИМП для получения импульсных, в том числе локальных воздействий, что дает возможность получать неразъемные соединения однородных и разнородных металлов в узкой зоне, соединять металлы и неметаллы [4], получать тонкие покрытия [3].

Основными показателями качества получаемых покрытий и соединения их с основой яв-

ляются прочность сцепления ($\sigma_{\text{сц}}$) и факторы, характеризующими поверхность покрытия. На прочность сцепления влияют параметры ИМП, электрофизические и механические свойства материала покрытия и основы, внешние условия при выполнении технологической операции (температура, давление и др.), геометрические факторы изделий (табл. 1).

Для нанесения покрытий в ИМП используют как металлические пластины, трубчатые оболочки, фольгу, так и предварительно спеченные порошковые заготовки [5].

Основы магнитно-импульсного прессования и обработки порошков и порошковых покрытий

Метод МИПП основан на взаимодействии ИМП с обрабатываемым материалом. Эффективность такого взаимодействия определяется зависимостями:

Основные факторы, влияющие на прочность сцепления покрытия при воздействии ИМП

Параметры ИМП	Характеристики материала покрытия	Показатели основы	Дополнительные факторы
Энергия разряда, кДж	Толщина	Электропроводность	Начальный зазор между покрытием и основой
Амплитуда импульсного тока, А	Пористость	Магнитная проницаемость	Площадь поверхности покрытия
Частота импульсного тока, Гц	Электропроводность	Толщина	Температура предварительного нагрева основы
Рабочее напряжение на индукторе, В	Магнитная проницаемость	Твердость	Скорость соударения покрытия с основой
Декремент затухания тока	Твердость и прочность	Прочность	Чистота обработки поверхности

- величина электромагнитного давления P_m ;
- электропроводность и магнитная проницаемость материала;
- прочностные и пластические свойства.

Для повышения P_m необходимо повышать напряженность электромагнитного поля, уменьшить расстояние между индуктором и заготовкой.

Чем выше магнитная проницаемость порошкового материала и его электропроводность, тем выше P_m . Поэтому эффективно обрабатывать в ИМП предварительно спрессованные и спеченные заготовки на основе меди, медных сплавов и некоторые порошковые сплавы на основе железа. Другие материалы можно обрабатывать только через промежуточную среду (оболочку, плиту) из материала с высокой электропроводностью, например, из меди.

Деформируемость порошковой заготовки в ИМП зависит от ее прочностных свойств, как и при статическом деформировании. Однако с увеличением частоты разрядного импульса обнаруживаются эффекты, присущие динамическим методам нагружения: неравномерность материала по сечению, появление трещин и др.

Экспериментальные исследования

Для проведения исследований использовалась магнитно-импульсная установка с максимальной величиной запасаемой энергии 30 кДж с частотой разряда от 15 до 30 кГц. Характеристики оборудования приведены в работах [4–6]. В работе ис-

пользовалась установка МИУ-30 (РТУ) и ВВС-60 (Цвиккау, Германия) (рис. 1). Энергоемкость 60кДж, частота разряда от 30 до 300 кГц: конденсаторный блок (а) и индуктор (б).

Использовались три основные схемы (рис. 2): а) «на обжим» с помощью индуктора, расположенного снаружи; б) «на раздачу» с помощью индуктора, расположенного внутри; в) плоская схема.

В качестве материала основы использовались заготовки из стали 50, а также спеченного железа с пористостью 15–20 % (рис. 3). На стальную основу наносились покрытия из спеченной бронзы (рис. 3, а), кольца из меди М1 на спеченную порошковую заготовку из железо-графита (рис. 3, б). Увеличение уровня энергии более 30 кДж приводило к трещинообразованию покрытий (рис. 3, в). Прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) определяли штифтовым методом с помощью универсальной разрывной машины

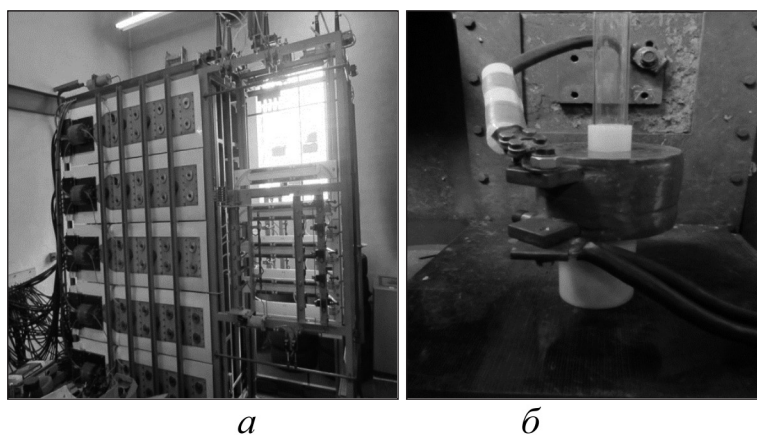


Рис. 1. Магнитно-импульсная установка ВВС-60

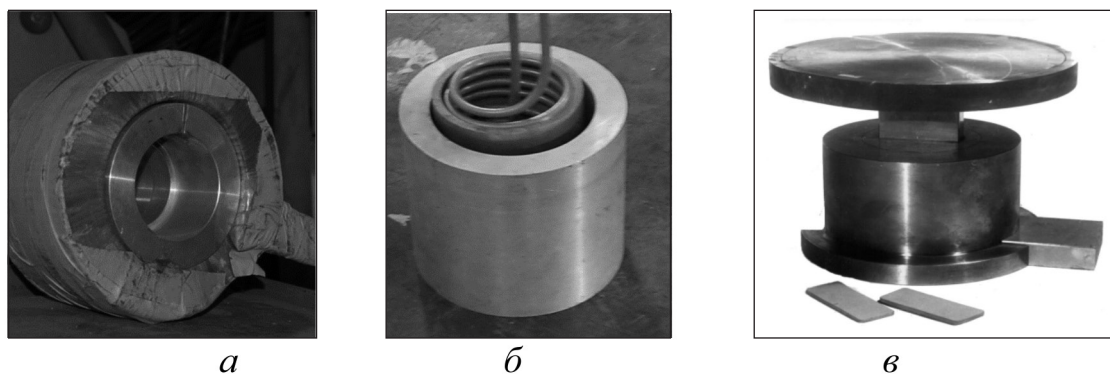


Рис. 2. Схемы обработки в ИМП: а - обжим; б - раздача; в - плоская схема

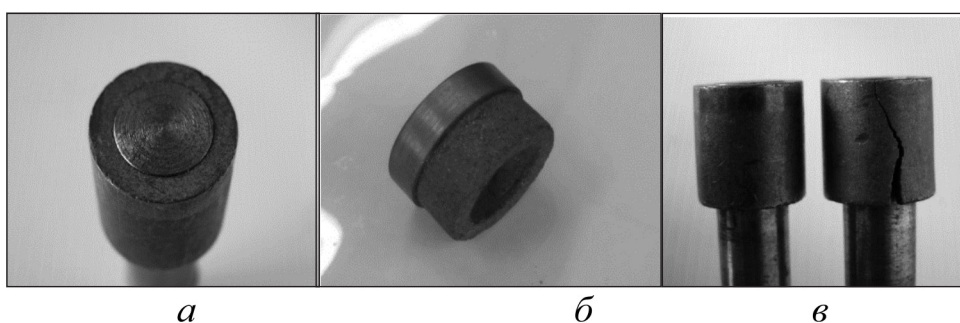


Рис. 3. Образцы с покрытиями с использованием обработки в ИМП

PM-1000. Давление ИМП определяли по результатам измерения импульсного разрядного тока в индукторе. Максимальное значение давления ИМП при экспериментах изменялось в пределах 200–450 МПа.

Были исследованы следующие образцы с покрытиями, полученными с использованием обработки в ИМП рис. 3, а) покрытие из спеченного материала (бронзо-графит БР ОФ10) толщиной 3 мм на цилиндрической стальной заготовке диаметром 12 мм. Длина покрытия 35 мм, исходная пористость – 10 %, энергия 10 кДж. Максимальная прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) – 100 МПа; б) покрытие толщиной 1,2 мм и шириной 15 мм). Основа из спеченного железомедного порошкового материала (содержание меди 12 %), пористость – 10 %, наружный диаметр – 35мм, внутренний – 20 мм. Максимальная прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) – 35 МПа; в) аналогично, а) при уровне энергии разряда 30 кДж.

Результаты и дискуссия

Исследования показали, что прочность сцепления покрытия с основой ($\sigma_{сц}$) изменялась в пределах от 30 до 150 МПа, при этом она увеличивается при увеличении электромагнитного давления. При этом:

Пористость покрытия из порошковой спеченной бронзы, полученного методом МИПП, после

нанесения на основу уменьшалась с 10 до 5 %.

Установлено, что $\sigma_{сц}$ увеличивается с повышением шероховатости поверхности материала основы.

Повторная обработка ИМП после промежуточного спекания при температуре 950 °С позволила повысить $\sigma_{сц}$ отдельных образцов до 180 МПа.

Схема нанесения и обработки покрытий с использованием индукторов на раздачу оказывается эффективной при внутреннем диаметре заготовки не менее 50 мм. При меньших размерах снижалась стойкость индуктора и эту операцию возможно было осуществить только с применением одноразовых индукторов (рис. 2, б).

Плоская схема (рис. 2, в) представляет интерес для динамического уплотнения порошковых материалов многократными импульсами.

Дополнительно была исследована возможность нанесения тонких покрытий из медной фольги на заготовки, свернутой в рулон (рис. 4, а). Покрытие обжимали в ИМП на установке ВВС-60 с энергией 16 кДж и с частотой разряда 30 кГц [7]. При увеличении энергии разряда более 29 кДж покрытие получало значительную деформацию. А также, нанесение на (0,5 мм) на стальную перфорированную ленту. Диаметр рулона – 80 мм, высота – 100 мм. Энергия разряда 16 кДж(а) и 30 кДж (б).

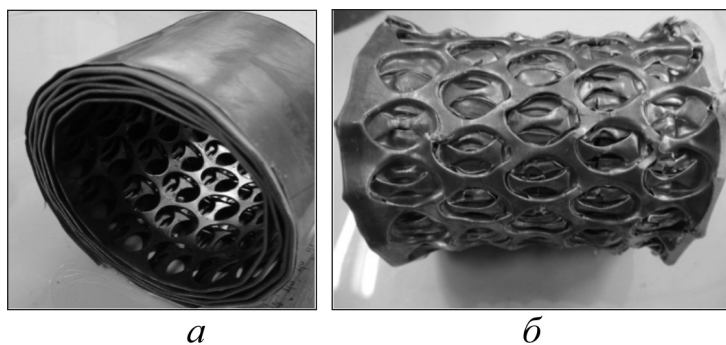


Рис. 4. Использование ИМП для нанесения медной неотожженной фольги

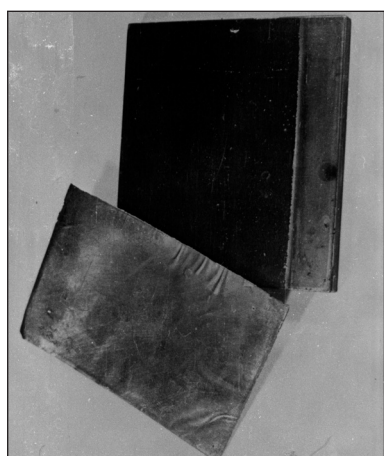


Рис. 5. Снятие напыленного медного покрытия толщиной 50 мкм со стальной подложки однократным импульсом

Исследован процесс воздействия ИМП на медное покрытие (толщина 50 мкм), предварительно нанесенное вакуумным напылением. Обработка покрытия ИМП при частоте разряда 50 кГц позволило получить его отслоение от поверхности стальной основы (рис. 5).

Заключение

1. Технологические методы с использованием ИМП в диапазоне частот от 10 до 30 кГц являются эффективными для получения толстостенных металлических покрытий из материалов с высокой электропроводностью, например, из меди и медных сплавов на стальных подложках.

2. Применение предварительного отжига медного покрытия способствует увеличению эффективности процесса и увеличению прочности сцепления.

3. Методы ИМП могут быть использованы для удаления тонкостенных металлических покрытий.

В экспериментальной части работы принимали также участие сотрудники Лаборатории порошковых материалов Рижского технического университета А. Шишкин и В. Земченков.

Список используемых источников

1. PSTproducts GmbH: <http://www.english.pstproducts.com/videochannel.htm>
2. Psyk, V., Risch, D., Kinsey, B.L., Tekkaya, A.E., Kleiner, M. Electromagnetic forming-A review. Journal of Materials Processing Technology, 211,787-829,2011.
3. Электрофизические методы получения покрытий из металлических порошков. Дорожкин Н.Н., Миронов В.А, Кот А.А.– Рига: Зинатне, 1985. 131 с.
4. Mironov, V., Levin, P. Joining of parts from metals and metals powderby means of electromagneticpulsed fields. In Proc. of the Int. Conf. "Joining of Materials" (JOM-4). Helsingor, Denmark, 1989, pp.380-385.
5. Mironovs, V., Boiko, I., Kolbe, M. Application of Pulse Electromagnetic Field for Joining of Powder Details. In Proc. of the 9-th Int. Conf." Mechatronic Systems and Materials" (MSM-2013), Vilnius, Lithuania, 2013, pp.170-172.
6. Mironov, V., Boyko, I. Research of surface condition of powder details. In Proceeding of 12-th Int. Conf. «Trends in the Development of Machineryand associated Technology», TMT 2008, Istambul, Turkey, 2008, pp.1113-1116.
7. Mironovs, V., Lapkovskis, V., Kolbe, M., Zemcenkovs, V., Shishkin, A. Application of Pulsed Electromagnetic Field in powder materials High Speed Forming. In Proceeding of the 6-th Int. Conf." High Speed Forming-2014 "(CHSF2014), Daejon, Korea, 2014, pp. 61-67.