МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ ИЗ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА, ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК

Разуева Д.А[1], Мальцева В.И.[1], Андреев С.В.[1], Волегов А.С.[1], Степанова Е.А.[1]

[1)] Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия
E-mail: d_razueva@mail.ru

MAGNETIC CHARACTERISTICS OF TOROIDAL SAMPLES PRODUCED BY 3D-PRINTING TECHNOLOGY FROM IRON POWDERS AFTER ANNEALING

Razueva D.A.[1], Maltseva V.I.[1], Andreev S.V.[1], Volegov A.S.[1], Stepanova E.A.[1]
[1)] Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Influence of the heat treatment on the magnetic characteristics of toroidal samples produced by direct metal laser sintering were investigated. Additional high-temperature heating allows to achieve acceptable magnetic parameters, magnetization increases with the raising of the annealing temperature.

Аддитивные технологии, используемые при производстве магнитов, приобрели Аддитивные технологии, используемые при производстве магнитов, приобрели широкое распространение благодаря возможности получать магниты более сложной геометрической формы. Гибкость технологий аддитивного производства для изготовления изделий сложной геометрии из порошков магнитных металлов открывает уникальные возможности для новых концепций дизайна и повышения удельной мощности машин без значительного увеличения стоимости производства [1].

Так, например, в работе [2] исследовались образцы, изготовленные в форме кубов из пермаллоя-80 методом селективного лазерного спекания. В ходе исследования было установлено, что благодаря термическим обработкам удалось достичь существенного улучшения магнитных характеристик образцов за счет уменьшения пустот и межзеренных границ. Также было установлено, что магнитные свойства полученных образцов близки по величине к магнитным свойствам образцов, полученных традиционным способом.

В настоящей работе было проведено исследование влияния термических обработок (ТО) на магнитные свойства образцов в форме торов высотой 1см и различными внешними и внутренними диаметрами (от 1 до 3 см), полученные из порошка карбонильного железа посредством аддитивной системы селективного лазерного плавления Orlas Creator RA с мощностью лазерного луча 158 Ватт и скоростью прохождения лазерного луча по поверхности порошка 1000 мм/с. На полученных торах в исходном состоянии и после ТО на комплексе ММКС-0.5-

100 (НИИ СТТ, г. Смоленск) были измерены следующие магнитные свойства: квазистатические кривые намагничивания, петли магнитного гистерезиса в магнитных полях от 100 А/м до 2000 А/м. Погрешность определения физических величин не превышала 3 %.

ТО исследуемых образцов проводились в печи СУОЛ в вакууме при температуре 900 °С и 1000°С с длительностью изотермической выдержки 1 час.

На рисунке представлены кривые намагничивания (рис.1 а) и петли гистерезиса при Н=2 кА/м (рис.1б) образцов в исходном состоянии и после ТО. Как видно из рисунка 1а, В2000 после отжига при 900 °С возросла до 0,82 Тл, после ТО 1000 °С до 0,9 Тл. Соответственно увеличилась остаточная индукция (рис. 1б).

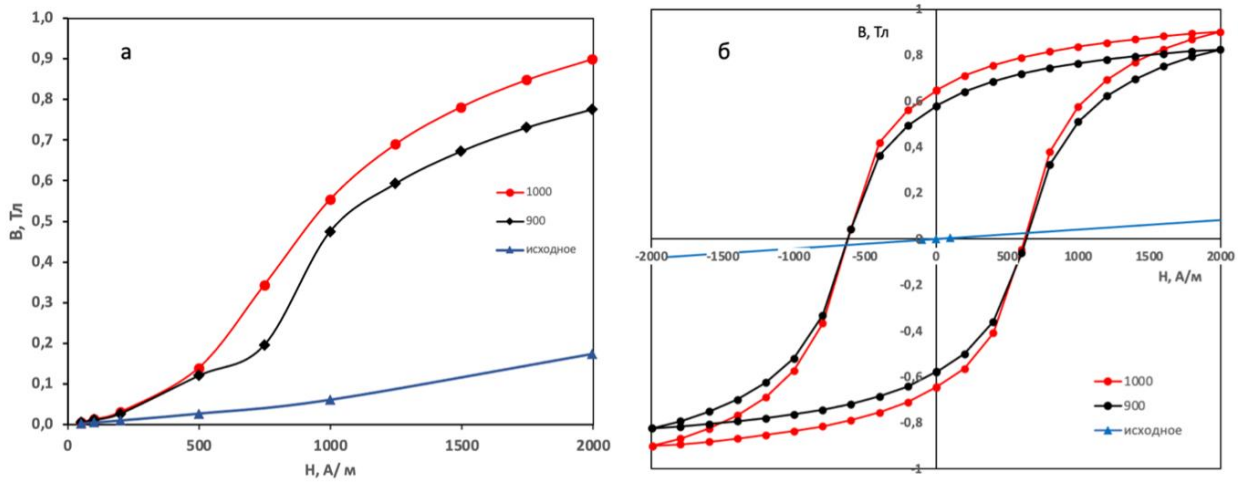

Рис. 1. а) Зависимость индукции магнитного поля от внешнего магнитного поля; б) Петли гистерезиса для Н=2 кА/м для кольцевых образцов в исходном состоянии и после ТО при 900 °С и 1000 °С.

В результате проделанной работы можно сделать вывод о том, что для улучшения магнитных свойств образцов, полученных методом 3Д-печати, необходимо применять термические обработки. Повышение температуры изотермической выдержки приводит к более существенному улучшению свойств, вероятно, из-за укрупнения кристаллических зерен.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-72-10104.

1. А.Р. Сафин, Ranjan Kumar Behera, Аддитивное производство и оптимизация топологии магнитных материалов для электрических машин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. V. 23. 2021. P. 14-33
2. Zhukov A.S., Barakhtin B.K., Bobyr V.V., Kuznetsov P.A. and Shakirov I.V., The experience of magnets manufacturing from metal powder using a laser // Journal Of Physics: Conference Series. V. 14. 2021 P. 012122