

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ БАРЬЕРОВ В АНИЗОТРОПНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Губанов О.М.

ООО «Анима Инфинита Флекс Новгород», Москва

Ключевые слова: анизотропная электротехническая сталь, лазерная обработка, термостабильные барьеры, удельные магнитные потери, вкрапления, керамические соединения, магнитные домены.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы получения в анизотропной электротехнической стали лазерных барьеров стойких к термическому воздействию. Автором опробованы различные режимы лазерной обработки, позволившие получить эффективные термостабильные барьеры. Исследованы причины и условия эффективности полученных барьеров. Показано, что эффект термостабильности получен за счет формирования в зоне воздействия лазера керамических соединений основным материалом для образования которых является грунтовый слой электроизоляционного покрытия анизотропной электротехнической стали. По результатам измерения магнитных свойств, автор приходит к выводу, что разработанная технология является перспективной в производстве материала для витых магнитопроводов.

OBTAINMENT OF THERMALLY STABLE LASER BARRIERS IN ANISOTROPIC ELECTRICAL STEEL

Gubanov O.M.

Anima Infinita Flex Novgorod LLC, Moscow

Keywords: anisotropic electrical steel, laser processing, thermally stable barriers, specific magnetic losses, inclusions, ceramic compounds, magnetic domains.

Abstract. The article considers the issues of obtaining thermally stable laser barriers in anisotropic electrical steel. The author tested various laser processing modes that allowed obtaining effective thermally stable barriers. The causes and conditions for the effectiveness of the barriers obtained were investigated. It is shown that the thermal stability effect is obtained due to the formation of ceramic compounds in the laser impact zone, the main material for the formation of which is the primer layer of the electrical insulating coating of anisotropic electrical steel. Based on the results of measuring the magnetic properties, the author concludes that the developed technology is promising in the production of material for twisted magnetic circuits.

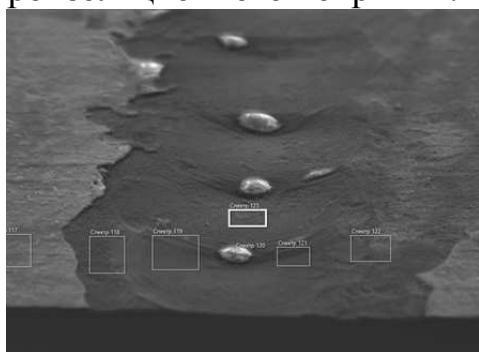
Известным способом снижения удельных магнитных потерь в анизотропной электротехнической стали является обработка поверхности стали лазером в направлении перпендикулярном направлению намагничивания [1]. В результате такой обработки с определенным шагом на поверхности формируются лазерные барьеры, которые способствуют сокращению длины и соответственно ширины основных 180° магнитных доменов, что обеспечивает снижение удельных магнитных потерь в среднем на 5-7%.

Наряду с этим, существуют объективные ограничения для использования стали с традиционной лазерной обработкой при изготовлении трансформаторов нового поколения, где изготовление магнитопровода происходит посредством его навивки с последующим отжигом для снятия внесенных механических

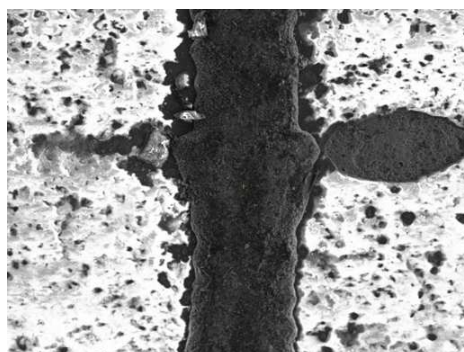
напряжений, поскольку при отжиге полностью удаляются полученные лазерные барьеры и снимается эффект полученного снижения потерь.

В данном случае, весьма перспективным является получение термостабильных лазерных барьеров, которые позволяют сохранить эффект снижения потерь даже после термического воздействия.

Для решения данной задачи, автором разработана технология лазерного скрайбирования, позволяющая получать в зоне лазерного воздействия соединения, состоящие из окислов алюминия, кремния и магния. Данные соединения локализуются в виде вкраплений или сплошных дорожек, что зависит от типа лазера и режимов его работы (рис. 1) [2]. По результатам анализа элементного состава можно предполагать, что основным материалом для формирования указанных соединений является грунтовый слой электроизоляционного покрытия.



а



б

Рис. 1. Внешний вид зоны лазерного воздействия с формированием а) вкраплений $\times 700$, б) дорожек $\times 1000$

Термостабильность полученных барьеров определялась при помощи визуализатора магнитных доменов после отжига образцов по режиму: нагрев до 850°C с произвольной скоростью, выдержка в течение 1 часа, охлаждение до комнатной температуры вместе с печью, что соответствует промышленному режиму отжига витых магнитопроводов. Магнитная структура до и после отжигов оказалась идентичной, что свидетельствует об эффективности разработанной технологии лазерного скрайбирования и получении эффекта термостабильности.

Поскольку в процессе формирования термостабильных барьеров участвует главным образом грунтовый слой покрытия, то появляется возможность совершенствования не только операции лазерной обработки, но и схемы производства.

По стандартной схеме производства лазерная обработка является финишной операцией и проводится на готовом металле с покрытием, что может приводить к его частичному разрушению в зоне термического воздействия лазера, хотя и без значимой потери общего электросопротивления покрытия [3].

Новая схема производства предполагает проведение лазерной обработки после высокотемпературного отжига, но до нанесения электроизоляционного покрытия и последующего выпрямляющего отжига поскольку термостабильный лазерный барьер не подвержен изменению при воздействии температуры. Достоинствами данной схемы являются возможность повышения общей

плоскостности проката и отсутствие получения локального разрушения покрытия.

Для опробования данной технологии были отобраны образцы от одних партий металла и обработаны по традиционной схеме со стандартной лазерной обработкой и по предложенной схеме с получением термостабильных лазерных барьеров. По итогам обработки измерялись магнитные свойства на установке BROCKHAUS MPG 100 D до лазерной обработки, после и в готовом состоянии.

Результаты измерений показали, что традиционная схема производства с получением классических лазерных барьеров обеспечила снижение удельных магнитных потерь $P_{1,7/50}$ в среднем до 7% тогда как новая схема обработки с получением термостабильных барьеров обеспечила снижение $P_{1,7/50}$ до 12% и без ухудшения показателей после сборки витых трансформаторов.

Таким образом, разработанная технология с получением термостабильных барьеров позволяет решить не только важную задачу по расширению номенклатуры анизотропных электротехнических сталей при производстве новых трансформаторов с витым магнитопроводом, но и улучшить при этом их показатели.

Список литературы

1. Тиунов В.Ф. Влияние особенностей искусственного дробления доменной структуры анизотропной электротехнической стали Fe-3% Si на эффективность снижения величины ее магнитных потерь // Физика металлов и металловедение. – 2022. – Т. 123, № 3. – С. 326-332.
2. Патент №2767370 РФ. Способ производства анизотропной электротехнической стали с термостабильными лазерными барьерами / О.М. Губанов, С.А. Крысанов. – Заявка №2021102667 от 04.02.2021; опубл. 17.03.2022, Бюл. №8.
3. Пужевич Р.Б., Каренина Л.С. Дефекты электроизоляционного покрытия, образующиеся в процессе лазерной обработки электротехнической анизотропной стали, и их влияние на магнитные свойства // Дефектоскопия. – 2011. – №4. – С. 17-21.

Сведения об авторе:

Губанов Олег Михайлович – к.т.н., директор по исследованиям и разработкам.