

**Краюшкина Валерия Александровна**

студентка

**Цыганов Игорь Анатольевич**

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

г. Липецк, Липецкая область

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПНОЙ СТАЛИ**

***Аннотация:** в данной статье рассматривается обзор экономически выгодных современных методов производства электротехнической анизотропной стали с достижением наиболее высокого качества.*

***Ключевые слова:** электротехническая анизотропная сталь, свойства, технология производства.*

Продвижение различных отраслей промышленности, таких как машиностроение, электроэнергетика, металлургия и другие, непосредственно связано с ростом спроса на электротехнические машины, а, значит, и с увеличением применения электротехнических сталей. Также необходимость в потреблении большого количества электроэнергии увеличивает потребность на изготовление электротехнической стали.

Успешное развитие электротехнической промышленности напрямую связано с качеством используемой стали, на которое влияет ряд свойств, зависящих от химического состава, а именно от содержания кремния, совершенства кристаллической решётки, количества включений и степени их дисперсности, величины зерна, внутренних напряжений, толщины и состояния поверхности листа.

Данная сталь нашла большое распространение в производстве электротехнического оборудования, магнитопроводов, сердечников трансформаторов, электродвигателей, генераторов, электромагнитов, дросселей и так далее.

Электротехнические стали должны обладать высокой магнитной проницаемостью и малыми потерями энергии при перемагничивании.

Для того чтобы уменьшить магнитные потери, сталь легируют кремнием или кремнием и алюминием, а так же другими элементами. Однако в современное время наблюдается спрос на стали с небольшим количеством кремния, так как они дешевле, хоть и обладают более высокими удельными потерями на перемагничивание. Потери энергии при перемагничивании зависят от площади петли гистерезиса, то есть от остаточной индукции и коэрцитивной силы.

В анизотропной стали структура из ориентированных крупных зерен формируется в процессе сложного технологического цикла, в состав которого входят прокатки и отжиги. Так в процессе высокотемпературного отжига в стали реализуется вторичная рекристаллизация (аномальный рост отдельных зерен) с формированием ребровой текстуры (текстура Госсса) – (110) [1], которая обеспечивает высокие магнитные свойства готовой электротехнической анизотропной стали. Для протекания вторичной рекристаллизации необходимо обеспечить при горячей прокатке создание определенной текстурной и структурной неоднородности и наличие в сплаве дисперсных частиц ингибиторной фазы. Таким образом, наличие отделения высокотемпературного отжига в прокатных цехах по производству анизотропной электротехнической стали, обосновывается необходимостью получения магнитных характеристик в стали.

В последние годы были разработаны три метода производства, позволяющие получать качественную электротехническую анизотропную сталь в кратчайшие сроки, однако эти методы имеют свои недостатки.

Однократную прокатку с высокой степенью обжатия проводят в двух методах. Расхождение в создании таких сталей заключается в технологии управления ингибиторной фазой.

Первая технология носит название сульфо-нитридной. Она предполагает образование ингибиторной фазы, в состав которой входит  $AlN+MnS$ , при горячей прокатке, за счет чего предотвращается собирательная рекристаллизация и реализуется аномальный рост зерна, то есть вторичная рекристаллизация. Недостатком этого метода является необходимость высокотемпературного нагрева

слябов (до 1400°C), вследствие чего возникает потребность в приобретении дорогостоящего оборудования для проведения этой операции.

Вторая технология предполагает использование химико-термической обработки (азотирования), основанной на добавлении азота для формирования ингибиторной фазы AlN. Минусами данного метода являются: отрицательное влияние аммиачной среды, используемой при азотировании, и значительное уменьшение производительности печи обезуглероживающего отжига.

Третья технология производства электротехнической анизотропной стали включает в себя двухкратную холодную прокатку металла и содержит 0,4–0,6 мас. % меди, что позволяет добиться совершенства и однородности структуры за счет соблюдения параметров нагрева на стадии обезуглероживающего отжига в промежуточной толщине. Однако необходимость поддержания стабильной температуры полосы в пределах 1190–1380°C перед чистовой горячей прокаткой и температуры 980–1040°C в конце прокатки ограничивает применение данного метода, так как это требует наличие дорогостоящих печей (до 1450°C) для высокотемпературного нагрева слябов, необходимых для данной технологии производства. Кроме того, метод предполагает обработку металла с толщиной 0,55–0,85 мм, что уменьшает производительность печей обезуглероживающего отжига.

Таким образом, производство электротехнической анизотропной стали достаточно сложный процесс в черной металлургии. Представленные методы способны ускорить ее изготовление, однако каждый из таких методов имеет свои недостатки, позволяющие производителям выбрать один из них, ориентируясь на свои возможности.

### ***Список литературы***

1. Чуйко Н.М. Трансформаторная сталь / Н.М. Чуйко, Е.И. Мошкевич, А.Т. Перевязко, Ю.П. Галицкий. – М.: Металлургия, 1970. – 264 с.
2. Молотиллов Б.В. Холоднокатанные электротехнические стали: Справочник / Б.В. Молотиллов. – М.: Металлургия, 1989. – 168 с.

3. Синельников В.А. Выплавка низкоуглеродистой электротехнической стали / В.А. Синельников, Б.С. Иванов. – М.: Металлургия, 1991. – 144 с.

4. Могутнов Б.М. Физическая химия процессов обработки электротехнических сталей / Б.М. Могутнов, Л.П. Емельяненко. – М.: Металлургия, 1990. – 168 с.

5. Лобанов М.Л. Электротехническая анизотропная сталь. Ч. I. История развития / М.Л. Лобанов, Г.М. Русаков, А.А. Редикульцев // МИТОМ. – 2011. – №7. – С. 18–25.

6. Лобанов М.Л. Электротехническая анизотропная сталь. Ч. II. Современное состояние / М.Л. Лобанов, Г.М. Русаков, А.А. Редикульцев // МИТОМ. – 2011. – №8. – С. 3–7.