

## ЖОГОРУЛАТЫЛГАН ЭНЕРГЕТИКА ТРАНСФОРМАТОРУНУН ӨЗӨГҮН ДАЯРДОО ҮЧҮН МАТЕРИАЛДЫ ТАНДОО

**Лукьянова М.Е.**

*"куюу жана жогорку натыйжалуу технологиялар" кафедрасынын магистратурасынын 1-курсунун студенти, lukyanova\_32@mail.ru*

**Аннотация.** Бул макалада трансформатордун иштөө принциби каралат. Трансформатордун өзөктөрү, ошондой эле аларды жасоодо колдонулган материалдар каралды. Бул иштин жүрүшүндө оптималдуу болот маркасы тандалып алынган, ошондой эле жылуулук иштетүү үчүн жабдуулар тандалган.

**Өзөктүү сөздөр:** Термикалык иштетүү, болот, трансформатордун өзөгү, декарбонизациялоо, рекристаллдаштыруу, күйгүзүү, тоголотуу.

## ПОДБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕРДЕЧНИКОВ ТРАНСФОРМАТОРА ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

**Лукьянова М.Е.**

*студентка 1 курса магистратуры кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» САМГТУ, lukyanova\_32@mail.ru*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен принцип работы трансформатора. Рассмотрены сердечники трансформатора, а также материалы, из которых их изготавливают. В ходе проведения данной работы выбрана оптимальная марка стали, а также выбрано оборудование для термической обработки.

**Ключевые слова:** Термическая обработка, сталь, сердечник трансформатора, обезуглероживание, рекристаллизация, отжиг, прокатка.

## SELECTION OF MATERIAL FOR MANUFACTURING CORE OF INCREASED POWER TRANSFORMER

**Lukyanova M.E.**

*1st year student of the Master's degree of the Department of Foundry and High-performance Technologies of SAMSTU, lukyanova\_32@mail.ru*

**Abstract.** This article discusses the principle of operation of the transformer. Transformer cores are considered, as well as the materials from which they are made. In the course of this work, the optimal grade of steel was selected, as well as equipment for heat treatment was selected.

**Keywords:** Heat treatment, steel, transformer core, decarburization, recrystallization, annealing, rolling.

**Введение.** Трансформатор, эта машина, преобразующая один вид энергии в другой, однако его нельзя назвать машиной в прямом смысле этого слова, так как в нем нет вращающихся деталей, в остальном он выполняет функции других электромашин [1].

Каждый трансформатор включает в себя сердечник и обмотка. Сердечник служит для создания замкнутого магнитного поля.

Для изготовления таких сердечников как правило применяют электротехническую сталь, ее особенность заключается в повышенном содержании кремния, он улучшает магнитные свойства [2].

Целью данной работы является подбор материала, его термической обработки, а также оценка эффективности полученного метода.

**Актуальность темы и постановка задач.** Данная тема актуальна в наше время, так как во всех сферах жизни человек использует электричество. Неотъемлемой частью поставки электричества является трансформатор. Задачи проекта: 1) Анализ известных материалов по изготовлению сердечников из электротехнической стали, 2) Выбор стали подходящей для производства сердечников большой мощности. 3) Выбор термической обработки для рулона при производстве сердечников. 4) Выбор термической обработки для рулона при производстве сердечников.

**Результаты исследования и рекомендации.** Сердечники трансформатора, как правило, производят из специальных, электротехнических сталей. Особенность этой категории сталей состоит в повышенном содержании кремния. С ростом количества кремния в стали улучшаются его электромагнитные свойства. Однако, при увеличении содержания кремния больше чем на 5% от всей массы помимо положительного эффекта возникает повышенная хрупкость и дальнейшая обработка стали, особенно методом проката, затрудняется [1].

В настоящее время для производства сердечников используется сталь 3311 [3]. Она может обеспечивать производство сердечников как для трансформаторов с большой мощностью, так и с пониженной. Однако, производство сердечников большой мощности из такой стали является достаточно затратным. Исходя из этого, было принято решение использовать сталь с идентичными показателями, но меньшей стоимостью. По условиям работы должны соблюдаться следующие показатели: удельные ваттные потери для стали не должны превышать:  $1,5 \pm 0,5$  Вт/кг. А Магнитная индукция  $1,9 \pm 0,5$  А/м. А удельное электрическое сопротивление готового проката не должно превышать  $0,6 \pm 0,5$  Ом  $\times$  мм<sup>2</sup>/м.

Исходя из этих данных было принято решение использовать сталь марки Э330. Состав марки стали представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав стали Э330

Элемент	C	Si	Cu	Mn	Cr	S	P	N <sub>2</sub>
Содержание в %	0,1	2,8-3,8	0,1	0,1- 0,15	0,005	0,005	0,012	0,01

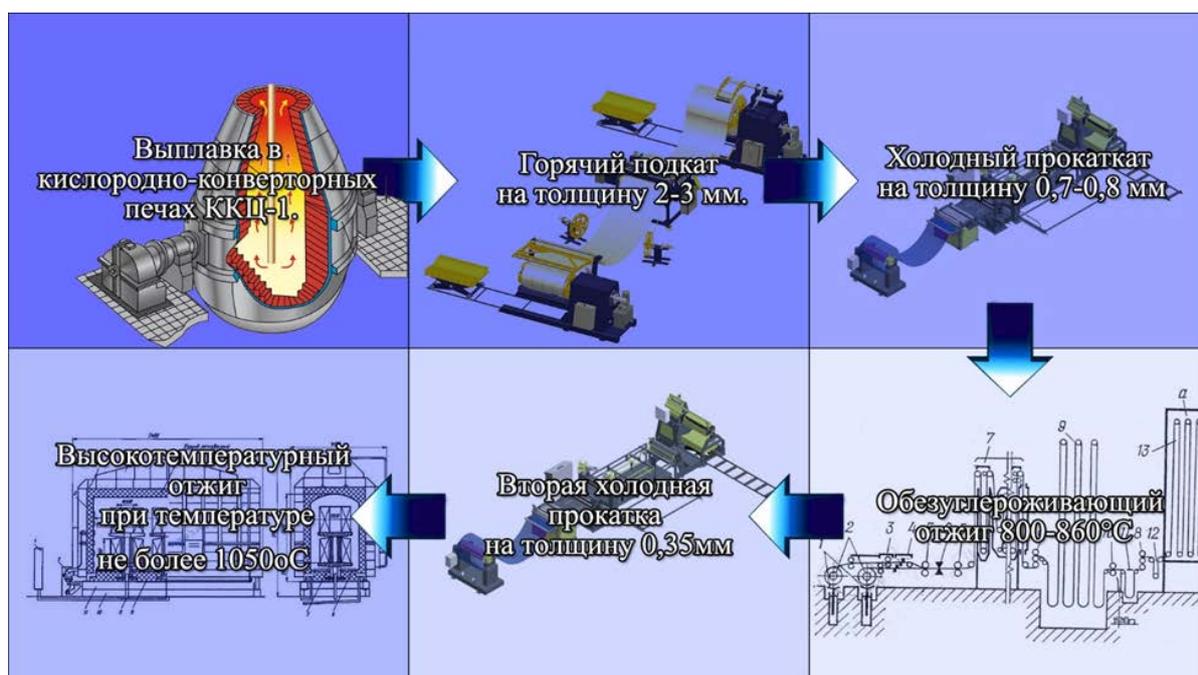


Рисунок 13 – Схема производства

Производства такой стали будет идти в несколько этапов (рисунок 1). 1) Выплавка слитков в кислородно-конвейерных печах, 2) Горячая прокатка на толщину 2-3 мм на стане размером 1,3 м. 3) Холодная прокатка на толщину 0,7-0,8 мм. 4) Так как, на электротехнические свойства влияет углерод, его количество не должно превышать 0,02% от массы. В данной стали первоначально содержатся 0,1%. Такой отжиг будет проводится при температуре 800-860°C с выдержкой 1-1,5ч, затем охлаждение до 200—250°C со скоростью около 50°C в час, затем охлаждение в окружающей среде. Обезуглероживание проводится в среде, содержащей 95%N<sub>2</sub>+5%Н<sub>2</sub>. 5) Холодный прокат на конечную толщину 0,35 мм. 6) Рекристаллизационный отжиг проводится для того, чтобы снять наклеп и сформировать необходимую зерненную структуру. Наилучшим размером для данной стали является зерна 180–220 мкм. Температурный режим отжига для металла толщиной 0,35 мм: 1) нагрев с произвольной скоростью до 400°C; 2) нагрев со скоростью 25°C за 1 час от 400°C до 600°C; 3) выдержка при 600°C - 10 часов; 4) нагрев со скоростью 25°C за 1 час от 600°C до 850°C; 5) нагрев со скоростью 25°C за 2 часа от 850°C до 1000°C; 6) нагрев с максимальной скоростью от 1000°C до 1050°C; 7) выдержка при температуре 1050°C - 30 часов; 8) охлаждение под колпаком с произвольной скоростью до температуры 150°C для металла толщиной 0,35. 9) охлаждения рулонов после распаковки печи не менее 36 ч.

После прокатки толщина листа должна быть одинаковой. А после отжигов не должно наблюдаться окалины, неоднородности цвета и других видимых дефектов.

После производства такой стали были произведены некоторые опыты, для проверки соответствия такой стали имеющимся требованиям. Первый опыт состоял в проверке удельных ватных потерь и магнитной индукции. Опыт проходил на магнитоизмерительная установке МК-4Э. Она предназначена для автоматических измерений удельных потерь и магнитной индукции. Полученные данные предоставлены в таблице 2.

Таблица 2 – показатели опытов на установке МК-4Э

Номер опыта Название	1	2	3	4	5	Итоговый показатель
Удельные ватные потери	1,21	1,4	1,3	1,3	1,03	1,25
Магнитная индукция	1,77	1,8	1,8	1,85	1,8	1,8

Исходя из этого можно сделать вывод, что предлагаемая сталь подходит по данным показателям. Так же были проведены исследования удельного электрического сопротивления на аппарате мегаомметр МЕГЕОН 13125. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – показатели удельного электрического сопротивления на аппарате мегаомметр МЕГЕОН 13125

Номер опыта	1	2	3	4	5	Итоговый показатель
Удельное электрическое сопротивление	0,46	0,46	0,46	0,51	0,45	0,47

Данный опыт так же показал, что сталь Э330 с такой обработкой может применяться в производстве сердечников трансформатора.

В ходе проведенной работы была выбрана сталь Э330. Для нее было принято проводить два вида отжига. Первый обезуглероживающий для снижения содержания углерода и рекристаллизационный отжиг для снятия наклепа и получения заданной структуры. Благодаря такой обработки можно получить оптимальную структуру, которая будет представлять из себя феррит с размером зерна 180-220 мкм.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Кислицын А.Л.** Трансформаторы: учебное пособие/ А.Л. Кислицын–Ульяновск, 2001. - 75с.
2. **Амосов, А. П.** Основы материаловедения и технологии новых материалов / Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2016. — 203 с.
3. ГОСТ 21427.1-83. СТАЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ХОЛОДНОКАТАНАЯ АНИЗОТРОПНАЯ ТОНКОЛИСТОВАЯ
4. **Ишков А.С.** Измерительно-вычислительный комплекс для исследования магнитных характеристик электротехнической стали / А.С.Ишков, Литвинов Л.Н. - Датчики и системы. – 2006 – 211с.
5. **Дружинин, В.В.** Магнитные свойства электротехнической стали / В.В.Дружинин. - М.: Энергия, 1974. - 240 с.
6. **Карр, В.** Магнитострикция. В кн. Магнитные свойства металлов и сплавов /В.Карр. Пер. с англ., под ред. С.В. Вонсовского. - М.: Издат. иностр. литерат., 1961.-327с.
7. **Кислицын А.Л.** Трансформаторы: учебное пособие/ А.Л. Кислицын–Ульяновск, 2001. - 75с.
8. **Волюнкина, Е.П.** Природоохранная деятельность предприятия. — Новокузнецк, 2009. — 284 с.
9. **Бабаев, Ю. А.** Учет затрат на производство и калькулирование себестоимости продукции. – Москва : Вузовский Учебник : ИНФРА-М, 2015. – 342 с
10. **Злобинский, Б.М.** Охрана труда в металлургии /Б.М. Злобинский. – М.: Металлургия, 1975. – 536 с.