

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

306-1

12-14 ноября 2020 года

УДК 621.314.222.6

А.С. КАРАЧЁВ, студент гр. ЭПм-191 (КузГТУ)

Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, к.т.н., доцент, (КузГТУ)
г. Кемерово

**ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОПРОВОДОВ ИЗ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ
В СОВРЕМЕННЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ**

В последние годы достаточно актуален вопрос сбережения электроэнергии, поскольку в этом заинтересованы как государство, так и частные компании и предприятия. В Российской Федерации реализована государственная программа энергосбережения, одной из составляющих которой является указание о том, что всем субъектам электроэнергетики Российской Федерации при приобретении силовых либо распределительных трансформаторов следует обращать внимание на стоимость потерь за полный срок работы электрооборудования. Посмотрев на то сколько электроэнергии тратится на потери холостого хода от общего объема генерируемой электроэнергии в Российской Федерации, можно увидеть, что в среднем это будет около 4%. Именно поэтому во всем мире стремительно начинает набирать популярность направление трансформаторостроения, отличительной особенностью которого является применение аморфных сталей и сплавов для изготовления магнитопровода трансформатора, благодаря чему снижаются потери холостого хода в среднем в 3-4 раза, в зависимости от мощности трансформатора, класса напряжения обмоток, конструкции магнитопровода, габарита, и т.д. Многие годы производители силовых трансформаторов настороженно относились к этой технологии изготовления сердечников из-за высокой стоимости конечного продукта. Но с развитием технологий и постепенным совершенствованием линии производства магнитопроводов изготовление сердечников из аморфных сплавов все более удешевляется и стремительно приближается к стоимости электротехнической стали. Об этом свидетельствует тот факт, что более 150 тыс. распределительных трансформаторов с сердечником из аморфной стали мощностью до 2500 кВА уже эксплуатируются в Японии, США и многих странах Европы.

Использование аморфных сплавов при изготовлении магнитопровода трансформатора потребует изменения принципов и методов проектирования трансформаторов, поскольку аморфная сталь имеет толщину 20-30 мкм и представляет собой металлическое стекло, не имеющее кристаллической решетки. Именно поэтому использование традиционных технологий изготовления сердечника становится не рациональным. Наиболее подходящей конструкцией для силовых трансформаторов с магнитопроводом

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
306-2**
12-14 ноября 2020 года

изготовленным из аморфной стали будет практически самая технологичная на данный момент витая стержневая или бронестержневая с одним стыком конструкция и прямоугольным сечением стержня. Также конструкторы столкнулись с серьезной проблемой в виде того, что на магнитопровод, изготовленный из листов аморфной стали, не допускается воздействовать чрезмерно большой осевой нагрузкой из-за своей низкой прочности на излом, в отличие от традиционной конструкции, где сердечник, выполненный из электротехнической стали представляет собой несущую конструкцию. Поэтому стержень из аморфной стали крепится к блоку обмоток, который располагается на специальном несущем основании, придающем жесткость конструкции[1].

Аморфные сплавы представляют собой необычный класс металлических материалов изготовленный на основе таких химических элементов как кремний, железо, кобальт, никель, хром, которые имеют разрозненную атомную структуру. Именно поэтому аморфные стали имеют в 4-6 раз меньшие удельные потери при намагничивании, чем электротехнические стали. При добавлении углерода, кремния или бора в основу расплава, достигается более высокая степень твердости, механической прочности и стойкости к коррозии, а также данные элементы значительно снижают температур, при которой происходит процесс плавления, чтобы как можно быстрее достичь той температуры, при которой во время охлаждения образуется стеклообразный сплав[3].

Ведущий мировой производитель лент из аморфного сплава компания Metglas (США, Южная Каролина), провела глобальное исследование потерь холостого хода в трехфазных силовых трансформаторах 25-2500 кВА распределительных сетей 6,10 кВ. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Мощность трансформатора, кВА	Средние потери ХХ, магнитопровод из электротехнической стали	Средние потери ХХ, магнитопровод из аморфного сплава	Снижение потерь, %
25	110	30	73
40	150	40	73
63	190	55	71
100	250	70	72
250	530	145	73
630	1150	275	76
1000	1650	345	79
1600	2050	485	71
2500	2650	565	79

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

306-3

Опираясь на данные в таблице 1, можно сделать вывод о том, что применение магнитопроводов из аморфных сплавов, вместо электротехнической стали позволяет уменьшить потери холостого хода в 4-6 раз.

Вследствие стеклования возникает макроскопическая анизотропия структуры из-за чего и получится магнитная анизотропия аморфных сплавов. При резком повышении вязкости вещества происходит процесс стеклования, что способствует деформации и сдвиговым напряжениям. От доменной структуры зависят магнитные свойства аморфных сплавов, то есть от взаимного расположения различных доменов друг относительно друга.

Для изготовления лент, из которых навивается или в редких случаях шихтуется магнитопровод для энергоэффективных трансформаторов, необходимо сверхбыстро охладить струи готового аморфного нанокристаллического расплава, который в свою очередь льется на быстро врачающийся барабан. Далее получившаяся лента проходит процесс обжигания в среде инертного газа при непосредственном воздействии магнитного поля напряженностью в диапазоне 700-900 А/м, в следствие чего получается гораздо меньшая площадь петли гистерезиса, чем у электротехнической стали. Благодаря этому достигаются более низкие потери холостого хода в магнитопроводе из аморфных сплавов трансформатора[4].

Благодаря описанному выше методу изготовления лент из аморфной стали они имеет следующие свойства по сравнению с лентами из электротехнической стали:

1. Отсутствие кристаллической магнитной анизотропии;
2. Электрическое сопротивление в 2 и более раз выше;
3. Толщина пластины (листа) составляет около 1/10 толщины холоднокатаной электротехнической стали.

Таким образом, трансформаторы, изготовленные на основе магнитопровода из аморфных сплавов обладают по сравнению с трансформаторами, магнитопровод которых изготовлен из электротехнической стали, такими преимуществами как:

1. Меньшая масса активной части;
2. Снижение потерь короткого замыкания за счет уменьшения количества витков в обмотках, за счет уменьшения габаритов трансформатора;
3. Температурный диапазон от -55 до 120°C;
4. Повышение КПД;
5. Более высокая точность для измерительных приборов;
6. Снижение рабочей температуры трансформатора, что увеличивает срок его службы;
7. Более устойчивые свойства и увеличение надежности трансформатора.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

306-4

Но следует сказать и о недостатках:

1. Достаточно высокая твердость материала, что затрудняет обработку и резку.
2. Высокая хрупкость стеклообразного сплава после термической обработки.
3. Малая толщина ленты, усложняющая шихтовку, поэтому применяется метод навивки магнитопровода.
4. Чувствительность к напряжениям.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что трансформаторы магнитопроводы которых выполнены из аморфных сплавов более энергоэффективны, чем традиционные трансформаторы, изготовленные с применением магнитопроводов из электротехнической стали. Поэтому в ближайшие годы будет довольно актуально использование аморфных сплавов и сталей в сердечниках современных трансформаторов различного назначения. Таким образом, в ближайшем будущем дальнейшее исследование свойств аморфных сплавов даст возможность оценить рациональность их применения и в статическом электротехническом оборудовании, и в динамических электрических машинах[2,5].

Список литературы:

1. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов. – 7-е изд. – М.: ЛЕЛАНД, 2014. – 528 с.
2. Золотухин И.В. Физические свойства аморфных металлических материалов. – М.: Металлургия, 1986. – 176 с.
3. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. – 384 с.
4. Производство аморфной и нанокристаллической ленты методом литья на овальный МНЛЗ / И.И. Данилова, В.В. Маркин, О.В. Смолякова и др. // Вестник ЮУГУ. – 2008. – № 9(109). – С. 16–21.
5. Исследование изменения микроструктуры аморфных металлических сплавов после низкотемпературной обработки методом нейтронной дифракции / А.И. Бескровный, Е.Б. Докукин, М.Е. Докукин, Н.С. Перров // Совещание по исследованиям на реакторе ИБР-2. – Дубна, 2002. – С. 72.

Информация об авторах:

Карачёв Андрей Сергеевич, студент гр. ЭПм-191, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, transformator666kv@yandex.ru.

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
12-14 ноября 2020 года**

306-5

Долгопол Татьяна Леонидовна, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, tdolgopol@yandex.ru.