

Изобретение относится к электротехнической промышленности и может быть использовано при изготовлении магнитопроводов электрических индукционных устройств, например трансформаторов.

Известен способ снижения потерь энергии в магнитопроводах трансформаторов за счет использования анизотропно-изотропной стали. Проводя дополнительную термообработку при 700-1200°C листовой анизотропной электротехнической стали в периодически расположенных по длине полосы зонах, получают сталь с изотропными участками [Авт. св. СССР №1314687, кл. С 21 D 8/12]. Магнитопроводы трансформаторов составляют из пластин стали таким образом, что изотропные зоны (зоны с изотропией свойств) оказываются расположенными в угловых участках магнитопроводов, где происходит поворот магнитного потока от направления прокатки в поперечное ему направление. Использование стали, прошедшей дополнительную термообработку, позволяет уменьшить потери энергии в сердечниках трансформаторов.

Однако, данное техническое решение основано на предположении о постепенном повороте магнитного потока в угловых участках магнитопровода от направления прокатки в поперечное ему направление [Майорец А.И., Пшеничный Г.И., Чечелюк Я.З., Шехтман Ю.М., Эйнгорн И.Я. Магнитопроводы силовых трансформаторов. - М.: Энергия, 1973] и не учитывает особенности процессов намагничивания в угловых участках. Реализация данного решения требует значительных энергозатрат, кроме того, увеличивается цикл производства листовой электротехнической стали

Известен также способ снижения потерь энергии в железокремниевых и железо-молибденовых сплавах [Патент США №3647575, МКИ-1 H 01 f 1/10, НКИ 148-111], принятый в качестве прототипа и заключающийся в скрайбировании всей поверхности пластин сфокусированным лазерным излучением поперек направления прокатки либо всей поверхности - вдоль направления прокатки, Указанная обработка уменьшает потери энергии при перемагничивании пластин.

Однако данное техническое решение не учитывает тот факт, что процессы намагничивания отдельных пластин стали и магнитопровода, собранного из этих же пластин, существенно разнятся. В шихтованном магнитопроводе имеют место особенности процессов намагничивания угловых участков и мест стыка пластин в магнитопроводах. Лазерная обработка всей поверхности пластин электротехнической стали поперек направления прокатки будет затруднять процессы намагничивания участков магнитопроводов, перемагничиваемых поперек направления прокатки. Лазерная обработка поверхности пластин электротехнической стали вдоль направления прокатки затрудняет намагничивание большей части пластин, которая намагничивается вдоль направления прокатки. Необходимо также отметить, что достигаемое уменьшение потерь энергии в магнитопроводе происходит за счет снижения энергетических затрат на перемагничивание каждой отдельно взятой пластины электротехнической стали. Добиться дальнейшего снижения потерь энергии в сердечнике можно путем такой обработки отдельных пластин электротехнической стали, которая проводится с учетом их последующего размещения в магнитопроводе.

В основу заявляемого изобретения поставлена задача облегчить, с учетом их особенностей, процессы намагничивания в угловых участках магнитопроводов и в местах стыка пластин в магнитопроводах путем создания в пластинах электротехнической стали структурных барьеров, что позволяет добиться снижения потерь энергии и тока холостого хода в магнитопроводах индукционных устройств.

Признаки, общие с прототипом:

- нарезка пластин из листа электротехнической стали,
- нормализующий обжиг,
- скрайбирование поверхностей пластин сфокусированным лазерным излучением,
- нанесение повторного электроизоляционного покрытия,
- сборка магнитопровода и его намагничивание во внешних полях.

Признаки, отличные от прототипа:

- в пластинах электротехнической стали создают структурные барьеры с учетом особенностей процессов намагничивания в угловых участках магнитопроводов и мест стыка пластин в магнитопроводах;
- структурные барьеры в областях угловых участков магнитопроводов и мест стыка пластин в магнитопроводах, намагничиваемых поперек направления прокатки, вытянуты вдоль направления прокатки.

Теоретическое обоснование заявляемого способа.

Угловые участки магнитопровода с прямым стыком пластин в процессе намагничивания разбиваются на две характерные области.

На фиг. 1 схематично изображен угловой участок магнитопровода; на фиг. 2-4 - изменение доменной структуры углового участка при намагничивании магнитопровода до индукций  $B = 0$ ;  $B = 1,4$  Тл;  $B = 1,7$  Тл - соответственно.

В области "1" намагничивание осуществляется путем смещений  $180^\circ$  - доменных границ, разделяющих

полосовые домены с векторами  $I_s$  вдоль осей  $\langle 100 \rangle$ , ближайших к направлению прокатки. В области "2" уже в начале процесса намагничивания формируется доменная структура с преимущественной ориентацией

векторов  $I_s$  вдоль осей  $\langle 010 \rangle$  и  $\langle 001 \rangle$  и под углами в  $45^\circ$  к поверхности листа (фиг. 3). Рост намагниченности 0 пределах этой области происходит первоначально за счет смещения  $90^\circ$ -ных доменных границ, а затем - путем поворота векторов  $k$  направлению, поперечному к направлению прокатки. Результирующая намагниченность в области "1" ориентирована вдоль направления прокатки, а в области "2" - поперек направления прокатки. Причем, как видно из фиг. 4, при значениях индукции в магнитопроводах  $B = 1,7$  Тл поворот магнитного потока от направления прокатки (в области "1") в поперечное ему направление (в области "2") осуществляется через достаточно узкую "эффективную доменную границу", вытянутую по диагонали "а-в" углового участка. Для облегчения процессов перемагничивания в угловых участках в последних создают структурные барьеры. Причем, в области "2" углового участка, которая

перемагничивается поперек направления прокатки (фиг. 1), структурные барьеры вытянуты вдоль направления прокатки. Структурные барьеры создают сфокусированным лазерным излучением, механическим скрайбированием, скрайбированием электродом, радиочастотным облучением, электрохимической обработкой, облучением пучком электронов и другими способами.

Способ осуществляют следующим образом:

Из листа стали вырезают пластины требуемой длины. Затем пластины отжигают, снимая механические напряжения. После отжига в пластинах электротехнической стали, с учетом их дальнейшего размещения в магнитопроводе создают структурные барьеры. Так, в областях типа "2" угловых участков магнитопроводов и мест стыка пластин в магнитопроводах, которые перемагничиваются поперек направления прокатки (фиг. 1) структурные барьеры вытянуты вдоль направления прокатки (фиг. 5). при этом в остальной части пластин структурные барьеры либо отсутствуют, либо вытянуты поперек направления прокатки. После того как созданы структурные барьеры любыми из доступных способов, на пластины электротехнической стали наносят повторное электроизоляционное покрытие и собирают магнитопровод.

Примеры конкретного выполнения.

Из пластин электротехнической стали размерами 500 x 80 x 0,3 мм были собраны сердечники с прямым стыком в угловых участках. Потери энергии  $E_{15/50}$  и  $E_{17/50}$  в сердечниках измеряли до и после создания в пластинах структурных барьеров.

Пример 1. Только концы пластин исследуемой стали были обработаны излучением ИАГ (иттрий-алюминий-гранат) лазера с длительностью импульсов  $\tau \approx 10^{-8}$  с, частотой их следования  $f = 25$  Гц и энергией в импульсе  $E = 1,2 \cdot 10^{-3}$  Дж. В ходе обработки лучом лазера (диаметром около 0,1 мм) сканировали в пределах областей "2" вдоль направления прокатки. После облучения лазером на поверхностях пластин в пределах областей "2" образовались ряды кратеров диаметром около 0,15 мм, вытянутые вдоль направления прокатки.

Результаты измерения потерь энергии в сердечнике сведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, за счет обработки потери энергии в исследуемых сердечниках (со стороной 0,5 м) были снижены на 2-3%.

Пример 2. Области "2" угловых участков подвергали скрайбированию шариковой ручкой. При механическом скрайбировании наблюдается более заметное снижение потерь (на 3-4 %). Наряду со снижением потерь энергии также имеет место уменьшение тока холостого хода на 15-17% (фиг. 6).

Пример 3. После лазерной обработки, проведенной как описано в примере 1, оставшуюся необработанной поверхность пластин подвергли сфокусированному лазерному излучению, сканируя луч лазера поперек направления прокатки. Результаты измерений потерь энергии в сердечнике приведены в табл. 2.

До 20% всего материала сердечника сосредоточено в угловых участках магнитопроводов и в местах стыка пластин в магнитопроводах, где осуществляется поворот потока магнитной индукции от направления прокатки в поперечное ему направление. Заблаговременно (до начала перемагничивания) изменив доменную структуру угловых участков и мест стыка пластин с учетом особенностей их перемагничивания, можно уменьшить потери энергии на 3-4% и ток холостого хода на 15-17% в сердечниках индукционных устройств.

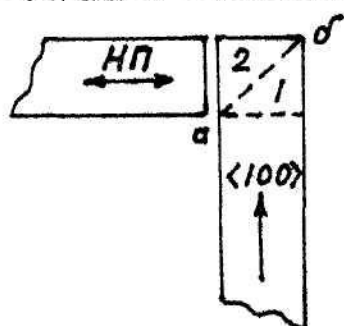
Таблица 1

Влияние лазерной обработки угловых участков магнитопровода на потери энергии в сердечниках

Сердечник	Вт, Тл	Потери энергии, Вт/кг		Процентное изменение потерь
		до лазерной обработки	после лазерной обработки	
1	1,5	1,016	0,990	- 2,6
	1,7	1,323	1,284	- 2,9
2	1,5	1,024	0,991	- 3,2
	1,7	1,330	1,305	- 1,9
3	1,5	1,051	1,013	- 1,7
	1,7	1,376	1,343	- 2,4

Влияние лазерной обработки поверхностей пластин  
на потери энергии в сердечниках

Сердечник	Вт, Тл	Потери энергии, Вт/кг		Процентное изменение потерь
		после лазер.об- работ.угл.участ- ков	после лазер.обр. всей попер.плат.	
1	1,5	0,990	0,850	- 14,1
	1,7	1,284	1,211	- 5,7
2	1,5	0,991	0,847	- 14,5
	1,7	1,305	1,216	- 6,8
3	1,5	1,013	0,874	- 13,7
	1,7	1,343	1,227	- 8,6



фиг. 1



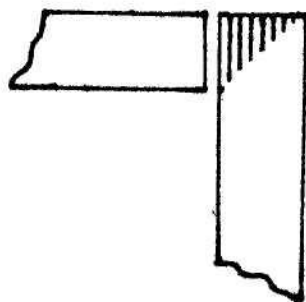
фиг. 2



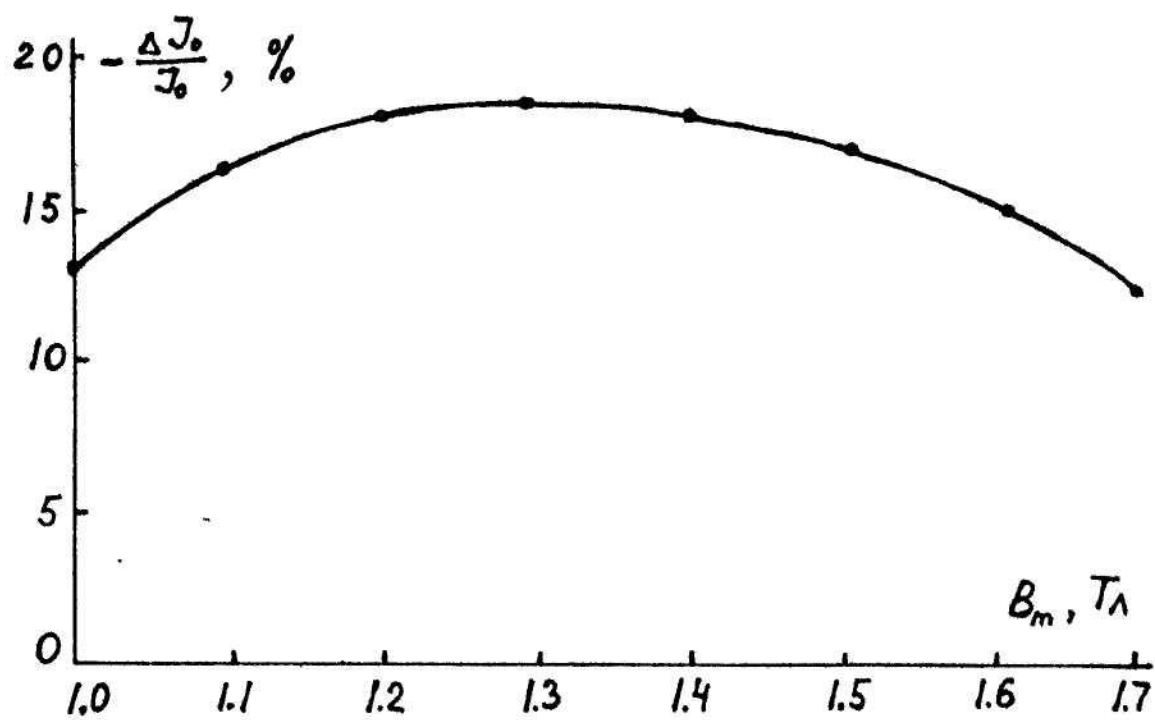
фиг. 3



фиг. 4



фиг. 5



фиг. 6