

УДК 537.622.4

**ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТОПРОВОДА
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ГАЗОВОГО КЛАПАНА**

Иванков Данила Михайлович

*Студент 4 курса,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: С. П. Бычков,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В магнитозамкнутых контурах используют ферромагнитные материалы, так как их применение позволяет сформировать более интенсивный магнитный поток.[1]

Магнитные свойства сплавов можно определить из зависимости магнитной индукции B , возникающей в материале, от напряженности намагничивающего магнитного поля H . График подобной зависимости имеет название петли гистерезиса (рис. 1). По петле гистерезиса можно определить коэрцитивную силу, индукцию технического насыщения и остаточную индукцию, магнитную проницаемость. [2] Именно данные характеристики определяют возможность использования материала в какой-либо технической задаче.



Рисунок 1 – Петля гистерезиса

Для повышения электромагнитной силы втягивания якорной части пропорционального газового клапана было принято решение об использовании прецизионного магнитомягкого сплава в качестве материала деталей магнитопровода. Свойства данных сплавов и варианты их термической обработки регламентируются ГОСТ 10160-75 [3]. Сплавы прецизионные магнитно-мягкие – это никелевые сплавы и низкоуглеродистые сплавы (большое количество углерода негативно сказывается на магнитных характеристиках материала, в частности, повышается коэрцитивная сила, что нежелательно в пропорциональном клапане).

Клапан работает в кислородосодержащей среде и при давлениях, достигающих 7 бар, поэтому необходим материал, обладающий высокой коррозионной стойкостью. Содержание хрома [4] или никеля повышает коррозионную стойкость сплавов.

Для анализа были выбраны три сплава, применяемые при изготовлении магнитопроводов, сердечников, трансформаторов: AISI 430FR, 50H и 16X-ВН. Химический состав представлен в таблице 1.

Ферромагнитные элементы, такие как железо, кобальт, никель, обладают собственной внутренней намагниченностью без воздействия внешнего магнитного поля. Это свойство обеспечивается их доменной структурой, в которой в каждом домене все магнитные моменты сонаправлены [5]. Чистота материала значительно сказывается на магнитных свойствах. Так, высокое содержание примесных элементов и углерода ведет к снижению магнитных свойств [6].

Таблица 1 – Химический состав сплавов AISI 430FR, 16X и 50H

Сплав	Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cu	Cr	Mo
50H	48,33-50,55	До 0,003	0,15-0,3	0,3-0,6	49-50,5	До 0,02	До 0,02	До 0,2	-	-
16X	~84	До 0,015	До 0,02	До 0,3	До 0,3	До 0,015	До 0,015	-	15,5-16,5	-
AISI 430FR	~81	До 0,065	1-1,5	До 0,8	0,6	0,25-0,4	До 0,03	-	17,25-18,25	0,5

Термовакuumная обработка магнитомягких материалов – наиважнейший технологический процесс для получения высоких магнитных характеристик. В процессе термовакuumной обработки происходят сложные процессы диффузии атомов, сопровождающиеся перестройкой кристаллической решетки металлов и устранением дефектов. Результатом этих процессов являются изменение размеров и формы зерна. В результате рекристаллизации снимаются напряжения в кристаллической решетке, а также наклёп поверхностных слоев металла.

Таблица 2 – Режимы термообработки сплавов AISI 430FR, 50H и 16X [7].

Сплав	Среда	Температура и скорость нагрева	Время выдержки	Скорость охлаждения
50H	Вакуум с остаточным давлением не выше 10^{-3} Торр или чистый водород с точкой росы не выше минус 40°C	$1125\pm 25^{\circ}\text{C}$, не более $500^{\circ}\text{C}/\text{ч}$	3-6 ч	До 600°C со скоростью не более $200^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, от 600°C до 200°C со скоростью не менее $400^{\circ}\text{C}/\text{ч}$
16X	Вакуум с остаточным давлением не выше 10^{-4} Торр	$1175\pm 25^{\circ}\text{C}$	4-6 ч	До $700\pm 50^{\circ}\text{C}$ со скоростью не более $100^{\circ}\text{C}/\text{ч}$; далее до 200°C со скоростью не менее $200^{\circ}\text{C}/\text{ч}$
AISI 430FR	Вакуум с остаточным давлением не выше 10^{-4} Торр или чистый водород с точкой росы не выше минус 40°C	900°C	2 ч	До 500°C со скоростью не более $50^{\circ}\text{C}/\text{ч}$, далее с печью

Термовакuumная обработка позволяет не только восстановить магнитные характеристики магнитомягкого сплава вследствие уменьшения плотностей дислокаций и изменения структуры дефектов кристаллической решетки, выравнивания химического состава, гомогенизации и атомного упорядочивания, но и улучшить их [7]. Примерные рекомендуемые режимы для выбранных материалов представлены в таблице 2.

Влияние каждого параметра режима термической обработки на магнитные свойства сплавов требует более детальных исследований. Разработанная программа

экспериментов позволит обосновать выбор материала и режим его термовакуумной обработки для повышения качества электромагнитных пропорциональных газовых клапанов.

Литература

1. Мишин Д.Д. Магнитные материалы // Москва, 1991.
2. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела // Изд-во МГТУ им. НЭ Баумана, 2008.
3. ГОСТ 10160-75 Сплавы прецизионные магнитно-мягкие. Технические условия (с Изменениями N 1-4, с Поправкой) от 09 апреля 1975 - docs.cntd.ru [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009056> (accessed: 16.12.2021).
4. Yu Y. et al. Effect of chromium content on the corrosion resistance of ferritic stainless steels in sulfuric acid solution // Heliyon. Elsevier, 2018. Vol. 4, № 11. P. e00958.
5. Преображенский А.А. Магнитные материалы // Москва, 1965.
6. ЛОГВИНОВ П.К. et al. Способ термической обработки магнитопроводов из сплавов с наивысшей магнитной проницаемостью. - 1984.
7. Скулкина Н.А., Степанова Е.А. Термическая обработка и магнитные свойства быстрозакаленных магнитомягких сплавов: учебное пособие // Издательство Уральского университета, 2020.