

ЭЛЕКТР ТРАНСПОРТИ МОТОРИНИНГ ИККИ СТАТОР-ВЕНТИЛИ УЧУН КОМПОЗИЦИОН МАГНИТЛИ ЮМШОҚ ҚОТИШМАЛАРДАН ФЙДАЛАНИШ УСУЛИ

Бердиев Усан Турдиевич,

техника фанлари номзоди, профессор, кафедра мудири;

Сулаймонов Ўткир Баходирович,

ассистент

Тошкент давлат транспорт университети

Тилабов Баходир Курбанович,

техника фанлари доктори, профессор «Материалшунослик» кафедраси

Тошкент давлат техника университети

Вечер Александр Константинович,

техника фанлари номзоди, доцент “Электроэнергия” кафедраси

Илмий-амалий марказ Материалшунослик бўйича

Белорусия миллий Фанлар академияси, Минск, Беларусь Республикаси

Аннотация. Мақолада темир йўл электр транспорти моторининг икки статор-вентили учун композицион магнитли юмшоқ қотишмалардан фойдаланиш усули қўриб чиқилган. Асосан, магнит характеристикаларига эга бўлган эгри гистерезис формаси билан кескин фарқланадиган, асосий қотишмалар гуруҳи ўрганилган. Электр транспорт воситаларининг икки статор-вентилли двигателлари учун композицион юмшоқ магнит қотишмаларининг тадқиқот ишлари олиб борилди. Шунингдек, икки статор-вентилли двигателларининг иш фаолиятини яхшилаш бўйича тадқиқотлар олиб борилди. Натижада композицион юмшоқ магнит қотишмалари баъзи элементларининг хусусиятлари ошади. Электр транспорти ўзагидаги магнит алмашуви қўлланилган. Қотишмаларнинг магнит ва механик қаттиқлигини чақирувчи тузилишидаги ўзгаришлар ўрнатилган.

Таянч тушунчалар: композицион магнитли юмшоқ қотишмалар ва материаллар, икки статор-вентилли моторлар, обмоткалар, темир йўл электр транспорти, магнит қотишмаларининг гуруҳлари, магнит характеристикаси, қотишмаларнинг магнит ва механик қаттиқлигини ошириш.

МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНИТНО-МЯГКИХ СПЛАВОВ ДЛЯ ДВУХСТАТОРНО-ВЕНТИЛЬНЫХ МОТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Бердиев Усан Турдиевич,

кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой;

Сулаймонов Уткир Баходирович,

ассистент

Ташкентский государственный транспортный университет

Тилабов Баходир Курбанович,

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»

Ташкентский государственный технический университет

Вечер Александр Константинович,

кандидат технических наук, доцент кафедры

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению, Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной статье рассмотрены методы использования композиционных магнитно-мягких сплавов для двухстаторно-вентильных моторов железнодорожного электрического транспорта. Изучены основные группы сплавов, резко отличающиеся формой гистерезисной кривой и значениями основных магнитных характеристик. Проведена научно-исследовательская работа по изучению композиционных магнитно-мягких сплавов для двухстаторно-вентильных моторов электрического транспорта. Также проведены исследования по повышению работы двухстаторно-вентильных моторов. В результате исследований увеличены свойства некоторых элементов композиционных магнитно-мягких сплавов. Применено переменное намагничивание в сердечниках электрического транспорта. Установлено, что эти изменения в строении вызывают повышение механической и магнитной твердости сплавов.

Ключевые слова: композиционные магнитно-мягкие сплавы, материалы, двухстаторно-вентильные моторы, обмотки, железнодорожный электрический транспорт, группы магнитных сплавов, магнитные характеристики, повышение механической и магнитной твердости сплавов.

METHODS OF USING COMPOSITE SOFT MAGNETIC ALLOYS FOR TWO STATOR-VALVE MOTORS OF ELECTRIC TRANSPORTS

Berdiev Usan Turdievich,

Candidate of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department

Sulaimonov Utkir Bakhodirovich,
Assistant

Tashkent State Transport University

Tilabov Bahodir Kurbanovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
"Materials Science"

Tashkent State Technical University

Vecher Alexander Konstantinovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department

Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for
Materials Science, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article discusses the methods of using composite soft magnetic alloys for two stator-valve motors of railway electric transport. The study deals with the main groups of alloys, which sharply differ in the shape of the hysteresis curve and the values of the main magnetic characteristics. Research was carried out on the study of composite soft magnetic alloys for two stator-valve motors of electric vehicles, as well as an improvement the performance of two stator-valve motors. As a result, the properties of some elements of composite soft magnetic alloys have been increased. Variable magnetization has been applied in the cores of electric transport. It was established that structural changes cause an increase in the mechanical and magnetic hardness of the alloys.

Keywords: composite soft magnetic alloys and materials, stator-valve motors, windings, railway electric transport, groups of magnetic alloys, magnetic characteristics, increase of mechanical and magnetic hardness of alloys.

Введение

У большинства железнодорожного электрического транспорта используются двухстаторно-вентильные моторы, которые служат для вращения основного оборудования. Некоторые элементы этого

оборудования изготавливаются из композиционных магнитно-мягких сплавов.

Как известно, из всех металлов только три – железо, никель, кобальт – обладают ферромагнетизмом, т. е. способностью значительно сгущать магнитные силовые линии, что характеризуется магнитной

проницаемостью. Относительная магнитная проницаемость ферромагнитных металлов достигает десятков и сотен тысяч единиц; для остальных она близка к единице. Если относительная проницаемость несколько больше единицы, то она является парамагнитной, а если меньше единицы – диамагнитной.

Целью данной работы является разработка основных элементов двухстаторно-вентильных моторов электрического транспорта с использованием композиционных магнитно-мягких сплавов.

Основная часть

На рисунке 1 приведены кривые намагничивания магнитных свойств сплавов. Как видно на диаграмме, кривая 2 является начальной кривой намагничивания, кривая 1 показывает изменение магнитной индукции в зависимости от напряженности поля при последующем намагничивании и размагничивании.

Основная площадь, ограниченная этой кривой, которая называется гистерезисной петлей, представляет собой так называемые потери на гистерезис, т.е. энергию, которая затрачена на намагничивание. Важнейшими являются следующие магнитные характеристики, определяемые по кривой намагничивания. Именно эти характеристики показаны на рисунке 1 с кривыми намагничиваниями.

Остаточная индукция B_r – это магнитная индукция, остающаяся в экспериментальном образце после его намагничивания и снятия магнитного поля (измеряется в гауссах, Гс).

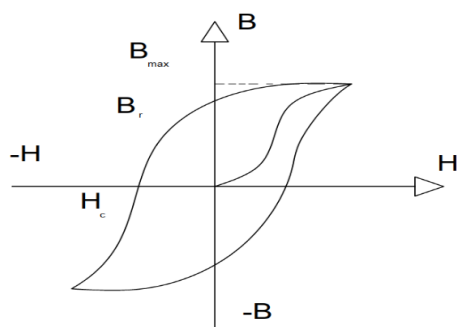


Рис.1. Основные кривые намагничивания магнитных сплавов

1 – гистерезисная;
2 – первичная; +В и –В – магнитная индукция; –Н и +Н – напряженность поля

Далее идет коэрцитивная сила H_c напряженности поля, которая должна быть приложена к испытываемому образцу для того, чтобы его размагнитить (измеряется в эрстедах, Э).

Как видно из основного хода первоначальной кривой намагничивания, интенсивность намагничивания изменяется с изменением напряженности поля. Интенсивность намагничивания пропорциональна тангенсу угла наклона касательно к кривой начального намагничивания и численно равна отношению B/H . Интенсивность намагничивания называется магнитной проницаемостью, а магнитная проницаемость в весьма слабых полях называется начальной магнитной проницаемостью, размерность магнитной проницаемости измеряется в Гс/Э.

По магнитным характеристикам магнитные сплавы подразделяют на две группы: 1 – магнитно-твердые сплавы; 2 – магнитно-мягкие сплавы. Они резко отличаются формой гистерезисной кривой и значениями основных магнитных характеристик. Магнитно-твердые сплавы характеризуются главным образом большим значением H_c и применяются для постоянных магнитов, а магнитно-мягкие сплавы характеризуются малым значением H_c и малыми потерями на гистерезис, их применяют как сплавы, подвергаемые переменному намагничиванию. Гистерезисные кривые линии магнитно-мягких сплавов показаны на рисунке 2.

Есть такие особые группы сплавов, имеющие высокую начальную магнитную проницаемость, которые должны интенсивно намагничиваться в слабых полях. Легирование металла вызывает повышение магнитной твердости. Если образуется только твердый раствор (в железе или в другом ферромагнитном металле), то магнитная твердость, или коэрцитивная сила, повышается незначительно; образование же второй фазы при легировании активно повышает коэрцитивную силу. Чем выше дисперсность второй фазы в сплаве, тем выше его коэрцитивная сила.

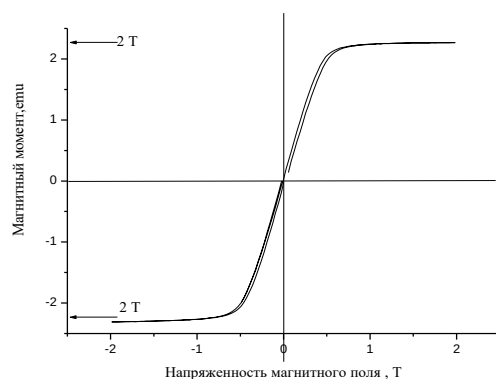


Рис. 2. Гистерезисные кривые для магнитно-мягкого сплава

Основные напряжения в решетке, вызванные наклепом или фазовыми превращениями, измельчение зерна и другие отклонения от равновесного состояния вызывают повышение коэрцитивной силы. Это значит, что происходят изменения в строении, вызывающие увеличение механической твердости, а именно, повышают магнитную твердость. Этим оправдано применение таких терминов, как магнитная твердость и мягкость материалов.

В отличие от магнитно-твердых материалов – сплавов для постоянных магнитов, где требуется высокая коэрцитивная сила, большую группу магнитных сплавов представляют так называемые магнитно-мягкие сплавы, которые в первую очередь должны иметь низкую коэрцитивную силу. Скажем, если высокая магнитная твердость достигалась получением неравновесной, высокодисперсной структуры, то для получения магнитной мягкости необходимо максимальное приближение к равновесному состоянию, а также необходимо получить крупное зер-

но, устранить источники, вызывающие искажения решетки и дробление блоков.

Кроме низкой коэрцитивной силы, магнитно-мягкие материалы должны иметь еще и высокую магнитную проницаемость в слабых, средних или сильных полях, низкие потери на перемагничивание.

В наших исследованиях взяли как наиболее подходящий магнитно-мягкий материал чистый металл, в первую очередь, технически чистое железо. В отдельных ограниченных случаях применяли сплавы не только на основе железа, но и других металлов, например, никеля и кобальта, а также электротехническую сталь.

Все примесив техническом железе, особенно углерод, являются вредными, и поэтому их содержание строго ограничивается по ГОСТу. В промышленном производстве изготавливаются три марки технического железа, отличающиеся по химическому составу, каждая из которых, в свою очередь, по магнитным характеристикам разделяется на сорта. Химические составы технического железа приведены в таблице 1, а магнитные свойства в таблице 2. В данных таблицах представлены марки железа, основные химические элементы и магнитные свойства этих материалов. Эти материалы применяются в электрическом транспорте и из них изготавливаются различные магнитно-мягкие элементы и детали двухстаторно-вентильных моторов.

Магнитные свойства железа (кроме его чистоты) зависят еще от структурного состояния. Наклеп резко ухудшает магнитные свойства, укрупнение зерна – улучшает.

Таблица 1

Химический состав технического железа

Марка железа	Содержание элементов, в %					
	C	Si	Mn	Cu	P	S
Э	≤ 0,04	≤ 0,2	≤ 0,2	0,15	≤ 0,025	≤ 0,3
ЭА	≤ 0,04	≤ 0,2	≤ 0,2	0,15	≤ 0,025	≤ 0,3
ЭАА	≤ 0,04	≤ 0,2	≤ 0,2	0,15	≤ 0,025	≤ 0,3

Таблица 2

Магнитные свойства технического железа

Марка железа	Магнитные свойства			
	Коэрцитивная сила H_c , э	Максимальная магнитная проницаемость, Гс/Э	Магнитная индукция, гс	
			B10	B25
Э	1,2	3 500	15 000	16 200
ЭА	1,0	4 000	15 000	16 200
ЭАА	0,8	4 500	15 000	16 200

В обычных промышленных сортах железа коэрцитивная сила равна порядка 1 Э или немного ниже, тогда как минимальное значение коэрцитивной силы – 0,01 Э получено на очень крупнозернистом чистом железе. Для получения крупного зерна и устранения наклепа металл подвергают отжигу при высокой температуре. Технически чистое железо применяли для изготовления сердечников, реле и электромагнитов постоянного тока, магнитных экранов, полюсов электрических машин и других деталей транспортов.

Выводы

Исследование показало, что для получения игольчатого феррита необходимо медленное охлаждение. При медленном охлаждении получается полиэдрический феррит (рис. 3 а). При быстром охлаждении получается структура игольчатого типа – игольчатый феррит (рис. 3 б). Твердость игольчатого феррита на 100-150 НВ выше твердости полиэдрического феррита.

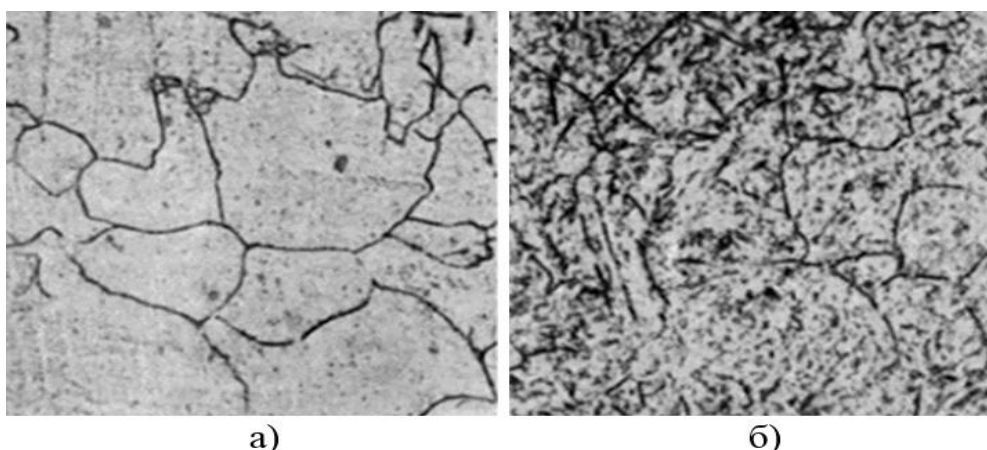


Рис. 3. Микроструктура феррита: а – полиэдрический феррит, медленное охлаждение; б – игольчатый феррит, очень быстрое охлаждение (X400)

Электротехническая сталь представляет собой ферритный сплав железа с кремнием и другими легирующими элементами (рис. 4). На данном графике видны почти все легирующие элементы сплавов.

Железосилицистый твердый раствор вследствие искажений в решетке, вызванных наличием в ней инородных атомов кремния, имеет более высокую коэрцитивную силу, чем чистое железо.

Однако в этом сплаве при нагреве можно получить крупное зерно, которое

при охлаждении не измельчается, так как нет γ - α – превращения, и это на практике приводит к тому, что значение коэрцитивной силы получается в таком материале не больше, чем в обычном железе. Более высокое электросопротивление легированного кремнием феррита уменьшает потери на токи Фуко. Естественно, что изменение размеров особенно α -решетки вызывает и изменение свойств феррита – прочность повышается, а пластичность уменьшается. Наблюдаются изменения свойств феррита, например,

твердости или ударной вязкости, при растворении в нем различных элементов (рис. 4). Как видно из диаграмм, хром, фольфрам, молибден упрочняют феррит меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден, вольфрам, а также кремний и

марганец (при наличии более 1 %) снижает вязкость феррита. Хром уменьшает вязкость значительно слабее перечисленных элементов, а никель не снижает вязкости феррита, а наоборот немного повышает.

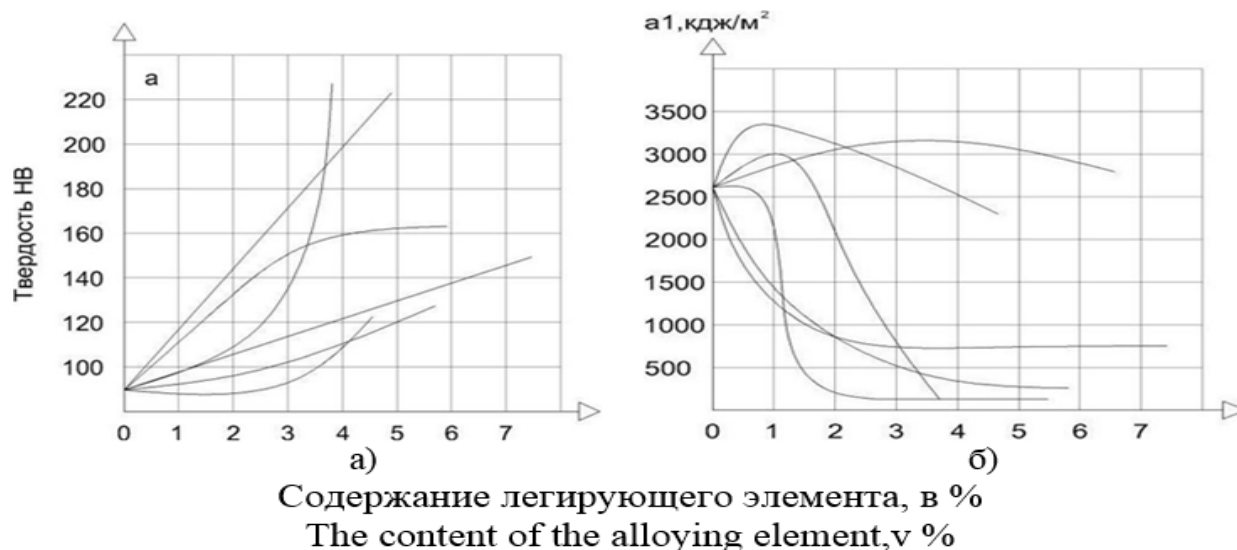


Рис. 4. Действительное влияние легирующих элементов на свойства феррита:
а – твердость; б – ударная вязкость

Из электротехнической стали в виде тонких листов изготавливают сердечники трансформаторов, магнитопроводы электрических машин и аппаратов переменного и постоянного тока. Данная листовая электротехническая сталь (ГОСТ 21473-75) подразделяется по сортаменту главным образом: 1) по толщине; 2) способу производства – холоднокатаный и горячекатаный листы; 3) степени анизотропии; 4) основным магнитным характеристикам – магнитная индукция и удельные потери; 5) степени легирования кремнием. Следует добавить, что удельные потери на перемагничивание тем меньше, чем тоньше лист, поэтому электротехническую сталь изготавливают только в виде тонких листов толщиной от 0,35 до 0,50 мм. Если в процессе изготовления деталей трансформатора сталь была подвергнута даже незначительной пластической деформации, например, рубке листов, загибу и др., то магнитные свойства ухудшаются. Для восстановления магнитных свойств рекомендуется проводить отжиг

для снятия напряжений (устранения искажений в решетке) при температуре 750-800 °C с медленным (<50°C/ч) охлаждением. Значит, для восстановления деформируемых магнитных свойств применяется оптимальный режим термической обработки – отжиг, который проводится с вышеуказанной температурой. Надо помнить, что все изготовленные элементы или детали трансформаторов, магнитопроводов электрических машин и аппаратов переменного и постоянного тока подвергаются термической обработке, а именно отжигу в печи. Для этого можно выбрать электрическую печь типа СНОЛ с температурой нагрева до 1000 °C.

В связи с вышеизложенным можно сказать, что в настоящее время в Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта проводятся научные исследования по разработке использования композиционных магнитно-мягких сплавов для двухстаторно-вентильных моторов электрического транспорта.

Источники и литература

1. Rahman K.M. Application of direct-drive wheel motor for fuel cell electric and hybrid electric vehicle propulsion system / K.M. Rahman, N.R. Patel, T.G. Ward, J.M. Nagashima, F. Caricchi, F. Crescimbeni // IEEE Trans. Ind. Appl. – 2006. – Pp. 42, 1185-1192.
2. Chau K.T., Chan C.C., Liu C. Overview of Permanent-Magnet Brushless Drives for Electric and Hybrid Electric Vehicles // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2008. – Pp. 55, 2246-2257.
3. Cao R., Mi C., Cheng M. Quantitative Comparison of Flux-Switching Permanent-Magnet Motors with Interior Permanent Magnet Motor for EV, HEV, and PHEV Applications // IEEE Trans. Magn. – 2012. – Pp. 48, 2374-2384.
4. Wang J., Patel V.I., Wang W. Fractional-Slot Permanent Magnet Brushless Machines with Low Space Harmonic Contents // IEEE Trans. Magn. – 2013. – Pp. 50, 1-9.
5. Преображенский А.А. Магнитные материалы. – М.: Высшая школа, 1993. – 355 с.
6. Довгалецкий Я.М. Легирование и термическая обработка магнитно-твердых и магнитно-мягких сплавов. – М.: Металлургиздат, 2000. – 178 с.
7. Говор Г.А. Магнитно-мягкие материалы на основе железа, используемые в электромашиностроении / Г.А. Говор, А.К. Вечер, У.Т. Бердиев, Н.Б. Пирматов, А. Карабаев, Ф.Ф. Хасанов // Вестник ТашИИТа. – 2019. – № 3. – С. 212-218.
8. Тилабов Б.Қ., Бердиев У.Т. Темир йўл транспорти ва машинасозликда композицион магнит юмшоқ материаллардан фойдаланиш // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых. – Т.: ТашИИТ, 2019. – С. 158.
9. Говор Г.А. Магнитно-мягкие материалы на основе железа. / Г.А. Говор, В.В. Михневич, В.И. Митюк, У.Т. Бердиев, Н.Б. Пирматов, У. Бердиев // Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрно-пищевом секторе: Сборн. Науч. трудов Международной научно- и научно-технической конференции. – Т.: ТашГТУ, 2020. – С. 76-77, 85-86.
10. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.wieland-electric.com/> (дата обращения 27.12.2020).
11. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.platan.ru/>
12. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.promelec.ru/>

Рецензент:

Пирматов Н.Б., доктор технических наук, профессор кафедры “Электрические машины” ТГТУ.