



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008104395/02, 11.02.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.02.2008

(43) Дата публикации заявки: 20.08.2009

(45) Опубликовано: 20.12.2009 Бюл. № 35

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 136887 А, 01.01.1961. SU 1836731 АЗ, 23.08.1993. RU 2149473 С1, 20.05.2000. RU 2273680 С1, 10.04.2006. JP 2005133142 А, 26.05.2005. EP 0431167 А1, 12.06.1991. JP 11238614 А, 31.08.1999.

Адрес для переписки:

607220, Нижегородская обл., г. Арзамас, ул.
Жуковского, 6, кв.11, И.И. Праздничкову

(72) Автор(ы):

Левашов Геннадий Павлович (RU),
Праздничков Иван Иванович (RU),
Пучков Вячеслав Павлович (RU),
Поздяев Василий Иванович (RU),
Дряхлов Владимир Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Левашов Геннадий Павлович (RU),
Пучков Вячеслав Павлович (RU),
Праздничков Иван Иванович (RU),
Поздяев Василий Иванович (RU),
Дряхлов Владимир Юрьевич (RU)

(54) ВЫПЛАВЛЯЕМЫЙ МАГНИТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МАГНИТОМЯГКОГО СПЛАВА И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ НЕГО МОНОЛИТНЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

(57) Реферат:

Изобретение относится к области плавильно-литевой металлургии черных металлов и сплавов. Магнитомягкий сплав после расплавления и смешивания с тугоплавкими, химически инертными, диэлектрическими микровключениями в виде порошка служит ферромагнитной основой композиционного магнитного материала, необходимого для изготовления монолитных магнитопроводов электрических машин. Диэлектрическая фаза служит нерастворимым компонентом материала, повышающим

удельное электрическое и индуктивное сопротивление сплава. Рассмотрен способ получения указанного материала от процесса расплавления исходной шихты сплава до процесса получения готовой литой заготовки монолитного магнитопровода с необходимыми и регулируемые по величине электромагнитными характеристиками, необходимыми для оптимальной работы электродвигателя в зависимости от частоты подаваемого на него питающего тока. 2 н. и 10 з.п. ф-лы.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2008104395/02, 11.02.2008**

(24) Effective date for property rights:
11.02.2008

(43) Application published: **20.08.2009**

(45) Date of publication: **20.12.2009 Bull. 35**

Mail address:
**607220, Nizhegorodskaja obl., g. Arzamas, ul.
Zhukovskogo, 6, kv.11, I.I. Prazdnichkovu**

(72) Inventor(s):

**Levashov Gennadij Pavlovich (RU),
Prazdnichkov Ivan Ivanovich (RU),
Puchkov Vjacheslav Pavlovich (RU),
Pozdjaev Vasilij Ivanovich (RU),
Drjakhlov Vladimir Jur'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Levashov Gennadij Pavlovich (RU),
Puchkov Vjacheslav Pavlovich (RU),
Prazdnichkov Ivan Ivanovich (RU),
Pozdjaev Vasilij Ivanovich (RU),
Drjakhlov Vladimir Jur'evich (RU)**

**(54) SMELTED MAGNETIC MEDIUM ON BASIS OF SOFT MAGNETIC ALLOY AND
MANUFACTURING METHOD FROM IT OF MONOLITHIC MAGNETIC CORE OF ELECTRICAL
MACHINES**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the melting-moulding metallurgy of ferrous material and alloys. Soft magnetic alloy after melting and mixing to refractory, reactionless, dielectric microinclusions in the form of powder operates as ferromagnetic basis of composite magnetic material, required for manufacturing of monolithic magnetic cores of electrical machines. Dielectric phase operates as insoluble component of material exceeding specific

electrical and inductive reactance of alloy.

EFFECT: development of effective method o receiving of specified material from the process of melting of initial charge of alloy up to process of receiving of finished cast blank of monolithic magnetic core with required and regulated by value electromagnetic properties, required for optimum operation of electric motor depending on rate of fed to its feeding current.

12 cl

RU 2 376 669 C 2

RU 2 376 669 C 2

Предлагаемая группа изобретений относится к области плавно-литевой металлургии черных металлов и сплавов, а также к области электротехнического машиностроения и приборостроения.

К магнитомягким материалам относятся электротехнические стали, обладающие малым значением коэрцитивной силы H_c и значительной величиной магнитной проницаемости μ . Среди них низкоуглеродистая электротехническая сталь марок Э, ЭА и ЭАА с незначительным количеством углерода С и примесей является техническим железом.

Низкое удельное электрическое сопротивление ρ и большие потери на вихревые токи не позволяют использовать указанные марки технического железа для изготовления монолитных сердечников трансформаторов и магнитопроводов электрических машин. Поэтому такие марки железа чаще всего используются в виде прутков для изготовления магнитных экранов, корпусов приборов или в виде тонких листов для изготовления шихтованных пакетов маломощных трансформаторов и служат сырьевым материалом для выплавляемых магнитных сплавов на основе железа.

В настоящее время на их основе производятся нелегированные электротехнические тонколистовые стали ГОСТ 3836-83 марок 10895, 10864, 10848, 20895, 20864, 20848 и др., которые широко применяются, в основном, в электротехнических устройствах постоянного тока [1].

Для применения указанных сталей в переменных магнитных полях электротехнической промышленностью освоены электротехнические стали, легированные кремнием Si, которые выпускаются в виде листов толщиной до 0,65 мм в соответствии с ГОСТ 21427-75 [2]. Кремний повышает удельное электрическое сопротивление стали, но при этом снижает магнитную индукцию. Поэтому относительное содержание Si в стали ограничено и составляет не более 5 процентов. Ограничение содержания Si также связано с повышением хрупкости металла. Однако электротехнические стали, легированные Si, находят широкое применение в производстве электротехнических изделий, работающих при частотах до 400 Гц, в виде клееных шихтованных пакетов, набранных из тонких пластин с двухсторонней полимерной или оксидной изоляцией.

Магнитные свойства легированных тонколистовых электротехнических сталей обеспечиваются соответствующими видами термической обработки в зависимости от способа их получения в соответствии с ГОСТ 12119.0-98. К этой группе материалов относятся электротехнические тонколистовые кремнистые стали марок Э11, Э12, Э21, Э31, Э310, Э320, Э330, Э340, Э370, Э41, Э42, Э43, Э44 и другие, используемые в массовом производстве средних и крупных трансформаторов промышленной частоты [3].

В связи с отсутствием во всех вышеуказанных сталях легирующих ферромагнитных элементов, значительно увеличивающих магнитную проницаемость материалов, они используются для изготовления слаботочных, несилловых и неотчетственных изделий, в переменных магнитных полях средних частот.

Другую группу магнитомягких материалов представляют сплавы на основе железа, полученные путем легирования основы одним или несколькими металлическими ферроэлементами: Ni, Si, Co, Al - ферромагнитомягкие сплавы.

В первую очередь, к ним относятся материалы, способные достигать больших значений индукции в очень слабых магнитных полях ($H \leq 10^2$ А/м), отличающиеся большой магнитной проницаемостью. Это сплавы системы Fe-Ni (пермаллой), Al-Si-

Fe (альсиферы), Fe-Co (пермендюры).

Пермаллои ГОСТ 10160-75 с содержанием 45-83% Ni характеризуются большой начальной магнитной проницаемостью μ_H , достигающей значения $\geq 70 \cdot 10^3$, и

5 максимальной проницаемостью $\mu_{max} \geq 247 \cdot 10^3$. Повышенные значения магнитной проницаемости и удельного электросопротивления позволяют использовать эти сплавы в виде шихтованных пакетов из изолированных тонких листов в радиотехнике и телефонии при частотах до 25 кГц и в электрических машинах, работающих при

10 питании их переменным током с частотой до 1-3 кГц при индукциях до 1,2 Тл. Все пермаллои по химическому составу можно разделить на две подгруппы: низконикелевые (45-50% Ni), имеющие высокую магнитную проницаемость при индукции насыщения до 1,5 Тл, и высоконикелевые (79-83% Ni) с чрезвычайно высокой магнитной проницаемостью при индукции насыщения до 0,75 Тл [4].

15 Особую группу составляют пермаллои с прямоугольной петлей гистерезиса, которые получают путем создания неравноосной кристаллографической текстуры сплава посредством пластической деформации металла при прокатке листов с различными вдоль и поперек оси степенями обжата (50НП) и однонаправленной магнитной текстуризации сплава при прокатке листов в магнитном поле

20 (термомагнитная обработка сплавов, например 65НП и 79НМП). Двухкомпонентные железоалюминиевые сплавы (8Ю, 12Ю, 16Ю и др.) и трехкомпонентные сплавы на основе железа, содержащие 5,4% Al и 9,6% Si (альсиферы), характеризуются аномалиями магнитных свойств у первых и

25 чрезвычайно высокой магнитной проницаемостью у вторых после упорядочения твердого раствора. Указанные сплавы обладают повышенным удельным электросопротивлением и высокой хрупкостью, что обеспечивает их получение только методом выплавки и литья или порошковой технологии. Значения магнитной проницаемости и индукции сплавов находятся на уровне средних и повышенных

30 значений аналогичных показателей пермаллоев, а по удельному электросопротивлению ($\rho=0,8-1,0$ вместо $0,25-0,8$ мкОм·м) превышают их значения. Преимуществом альсиферов является отсутствие в их составе дорогих и дефицитных элементов.

35 Железোকобальтовые сплавы с содержанием 18-49% Co обладают высокой индукцией насыщения ($B_s=2-2,5$ Тл) и высокими значениями точки Кюри, что обеспечивает им высокую восприимчивость воздействующих на образцы структурирующих внешних магнитных полей при термомагнитной обработке. По

40 этой причине железোকобальтовые сплавы используют в виде шихтованных и витых пакетов в конструкциях роторов и статоров электрических машин, включая трансформаторы и датчики первичной информации наиболее ответственных изделий при температурах эксплуатации до 900°C и магнитных нагрузках при индукциях выше 1 Тл.

45 Общим существенным недостатком всех вышеуказанных сталей и сплавов является невозможность их использования в виде монолитных литых магнитопроводов в узлах ротора и статора различных электрических машин по причине резкого возрастания в них тепловых потерь от вихревых токов, что приводит к их размагничиванию и росту в цепи рабочих значений потребляемых токов и мощности с одновременным

50 уменьшением потокосцепления в воздушном зазоре между взаимодействующими магнитными узлами, а следовательно, и уменьшения величины крутящих моментов электродвигателя. Кроме того, нагрев металлических конструкций в узлах

электродвигателя является причиной выхода из строя изолирующих органических материалов и смазки в шарикоподшипниках, что приводит к их быстрому заклиниванию и даже возникновению очагов возгорания.

5 Дополнительно к этому, пластинчатая или витая конструкция склеенных шихтованных пакетов и сердечников является основным фактором низкой конструктивной жесткости узлов и причиной нестабильности их центра масс, а также причиной возникновения «магнитных шумов» и высоких вибраций пластин пакетов, вызывающих магнитный резонанс и ухудшающих точностные и эксплуатационные
10 характеристики изделий.

Указанные недостатки конструкций можно устранить полностью за счет получения и применения в узлах статоров электрических машин монолитных магнитопроводов, отливаемых из жидкого расплава известных выплавляемых ферромагнитомягких, прецизионных сплавов, с введением в жидкую металлическую матрицу сплава
15 мелкодисперсных, тугоплавких, химически инертных, диэлектрических включений в количестве, зависящем от действующих дискретных значений индукции и частоты магнитного поля.

Известен способ изготовления шихтованных и витых пакетов и сердечников, склеенных из пластин, ленты или проволоки, получаемых из известных, выплавляемых сталей и сплавов [5, 6], который включает в себя:

1. Изготовление из выплавляемых сталей и сплавов листовых полос, проволоки.
2. Нарезку заготовок полос из листа толщиной 0,2 - 0,5 мм, или заготовок ленты из листа толщиной 0,05-0,2 мм, или заготовок из проволоки прямоугольного сечения
25 необходимой длины, обеспечивающей расчетное значение омического сопротивления.
3. Штамповку высечек и выкроек из заготовок полос, лент и бухт.
4. Термическую обработку (отжиг) штампованных высечек, выкроек из ленты и проволоки для получения заданных чертежом магнитных свойств.
- 30 5. Контроль магнитных свойств высечек, выкроек и заготовок.
6. Нанесение на поверхности высечек, выкроек и заготовок из проволоки термостойкого изоляционного покрытия химико-термическим методом.
7. Нанесение на изолированные поверхности высечек, выкроек и заготовок из проволоки термостойкого органического клея толщиной слоя 0,2-0,3 мм.
- 35 8. Сборку шихтованных пакетов и витых сердечников из покрытых клеем высечек, выкроек и заготовок из проволоки в резьбовых технологических приспособлениях с фиксируемыми осевыми и радиальными усилиями сжатия.
9. Сушку клея в пакетах и сердечниках в составе технологических приспособлений при температуре 150-180°С.
- 40 10. Зачистку цилиндрических поверхностей, торцов пакетов и сердечников от наплывов засохшего клея.
11. Лазерную сварку пластин, лент и проволоки по вырубленным через 90° пазам на цилиндрической образующей поверхности пакетов непрерывным осевым швом с
45 целью скрепления между собой пластин, лент и проволоки деталей и слоев пакетов и сердечников.
12. Механическую обработку поверхностей пакетов и сердечников с целью снятия шлака, рельефности, овальности и конусности без нарушения целостности остаточных сварных швов.
- 50 13. Контроль размеров, формы и магнитных свойств пакетов и сердечников.
14. Финишную механическую обработку базовых и сопрягаемых поверхностей пакетов и сердечников в соответствии с требованиями чертежа.

15. Обезжиривание и промывку пакетов и сердечников.

16. Маркировку пакетов и сердечников.

17. Комплектование пакетов и сердечников с сопрягаемыми базовыми деталями узлов для их сборки.

5 Основным недостатком известного способа изготовления шихтованных пакетов и витых сердечников узлов является то, что в результате его использования получаются пакеты и сердечники с очень низкой конструктивной жесткостью из-за отсутствия
10 полной монолитности и металлокристаллической связки между сопрягаемыми

Другим недостатком способа является его сложность, имеющая причиной большое число операций.

В процессе эксплуатации электродвигателей на узлы и сочленяемые в них детали
15 действуют сложные механические, растягивающие и сжимающие усилия, а также циклические изменения температур, вибрации и удары. При их воздействиях в пакетах и сердечниках, как наиболее слабых конструктивных элементах, возникают
термомеханические деформации тонких пластин, лент и проволоки, порождающие в
них внутренние структурные напряжения, значительно превышающие по силе
20 пределы прочности клеевых соединений и сварных микрошвов в пакетах и в сердечниках. В результате разрушения указанных соединений в пакетах и сердечниках
происходят необратимые хаотичные (скачкообразные) смещения пластин, слоев лент
и проволоки по законам случайных величин, например в сторону меньших сил трения
или сцепления, что приводит к преждевременному выходу из строя обмоток,
25 изоляционных материалов, шарикоподшипников и изделия в целом. Необходимость
уменьшения влияния указанных разрушений приводит к усложнению и удорожанию
технологического процесса изготовления электроприводов и к возникновению не
учитываемых моментов от смещения центра масс узлов электродвигателя, которые
30 порождают тормозящий «опрокидывающий» момент в опорах вращения ротора,
обусловленный разбалансом динамической системы относительно осей симметрии
двигателя [7].

Вышеуказанные недостатки могут быть устранены за счет применения монолитных
литых конструкций магнитопроводов в узлах электрических машин вместо
35 шихтованных пакетов и витых сердечников, а также нового способа изготовления
магнитопроводов.

Достижимый технический результат предлагаемой группы изобретений - получение
неразделимого комплекса, состоящего из принципиально нового выплавляемого
40 ферромагнитного материала на основе магнитомягкого сплава, обладающего
одновременно повышенными значениями удельного электрического и индуктивного
сопротивлений при заданных значениях магнитной индукции, а также нового способа
изготовления из указанного материала магнитопроводов электрических машин в виде
литых монолитных конструкций, обладающих сплошной металлокристаллической
45 структурой и единым (неизменным) центром масс.

Технический результат в отношении заявляемого материала достигается тем, что в матрицу магнитомягкого сплава вводят тугоплавкую, химически инертную,
диэлектрическую фазу при следующем соотношении компонентов, вес.%:

50 диэлектрическая фаза - 0,01-10,0;

магнитомягкий сплав - остальное.

Дополнительным отличием заявляемого материала является то, что,
магнитомягкий анизотропный сплав обладает магнитной текстурой в результате

воздействия на него постоянного или переменного магнитного поля, прикладываемого в процессе термомагнитной обработки.

Другое дополнительное отличие заявляемого материала состоит в том, что диэлектрической фазой является порошок окиси алюминия Al_2O_3 или окиси кремния SiO_2 .

Дополнительным отличием заявляемого материала научно-теоретического характера является то, что содержание диэлектрической фазы в магнитомягкой матрице сплава пропорционально действующей частоте и индукции магнитного поля, наводимого в сплаве намагничивающим током.

Отличием заявляемого материала научно-практического характера является то, что при содержании диэлектрической фазы в магнитомягком сплаве в количестве 0,01-0,5 вес.%, материал представляет собой композицию магнитопровода для электрических машин постоянного тока.

Кроме того, другим практическим отличием заявляемого материала является то, что при содержании диэлектрической фазы в магнитомягком сплаве в количестве 0,1-10 вес.%, материал представляет собой композицию магнитопровода для электрических машин переменного тока.

Технический результат в отношении заявляемого способа изготовления из указанного материала монолитных магнитопроводов электрических машин достигается тем, что дозированные в весовых (массовых) процентах компоненты первичной шихты сплава сначала расплавляют при температуре $1500 \pm 100^\circ C$, после чего в жидкий раствор сплава вводят строго дозированное количество тугоплавких, химически инертных, диэлектрических микровключений в виде порошка, которые перемешивают с жидким раствором сплава, затем полученную механическую смесь перекачивают в литейную камеру, где ее дополнительно перемешивают, а далее заливают или в разъемную запирающуюся стальную пресс-форму или в постоянную опоковую форму и охлаждают в них, а после отвердевания остывшие отливки извлекают из форм и подвергают механической, термической и термомагнитной обработке (при необходимости) и далее сборке с сопрягаемыми базовыми деталями в узлы, в том числе в неразборные узлы интегральной конструкции (при необходимости).

Дополнительным качественным отличием заявляемого способа изготовления магнитопроводов электрических машин является то, что процесс расплавления первичной шихты сплава, введения в жидкий расплав чистых металлов микрочастиц тугоплавкой, диэлектрической фазы, а также последующего перемешивания их с жидким металлом, литья механической смеси в формы и охлаждения отлитых заготовок в формах проводят в вакууме или в среде защитного инертного газа.

Другим дополнительным качественным отличием заявляемого способа изготовления монолитных магнитопроводов электрических машин является то, что механическую смесь расплавленного металла с диэлектрической фазой заливают в охлаждаемую пресс-форму за счет сил избыточного давления окружающей среды на литейной машине под давлением.

Альтернативным отличительным признаком способа получения отливки монолитного магнитопровода является то, что механическую смесь расплавленного металла с диэлектрической фазой заливают за счет центробежной силы в постоянную охлаждаемую форму на центробежной литейной машине.

Еще одним отличием заявляемого способа изготовления монолитных магнитопроводов электрических машин является то, что слиток выплавленного

магнитного материала с диэлектрической фазой, полученный любым из вышеуказанных методов и охлажденный до температуры 700-800°C, продавливают через профилирующую матрицу или насадку экструдера.

5 Кроме того, отличительным признаком заявляемого способа изготовления монолитных магнитопроводов электрических машин является то, что при отжиге магнитопроводы нагревают на 30-50°C выше температуры фазовых магнитных превращений в сплаве, затем их выдерживают в течение 20-30 минут, после чего изымают из зоны нагрева и охлаждают, а при необходимости сразу после изъятия
10 проводят термомагнитную обработку в процессе охлаждения магнитопроводов под действием тока на намагничивающей установке.

Указанные технические результаты достигаются путем замены известных выплавляемых магнитомягких сталей и сплавов, выпускаемых в виде листов, лент и проволоки, на новый выплавляемый ферромагнитный материал на основе любого
15 известного магнитомягкого сплава с введенными в него тугоплавкими, химически инертными, диэлектрическими микровключениями, а также путем замены известного способа изготовления шихтованных пакетов из пластин и витых сердечников из ленты или проволоки на новый способ изготовления из нового указанного материала
20 монолитных литых конструкций магнитопроводов электрических машин.

Полученные в ходе испытаний результаты [8] основаны на нетрадиционных для современной теории металловедения и физики металлов методах «донорного» легирования химических составов известных выплавляемых прецизионных магнитомягких сплавов с целью одновременного повышения их удельного
25 электрического и индуктивного сопротивлений путем искусственного внедрения в структуру сплава тугоплавких, химически инертных, диэлектрических микровключений, не изменяющих электрических, магнитных и физико-механических свойств сплава. В результате в сплаве образуются лабиринты, заполняемые в процессе
30 перемешивания жидких компонентов шихты сплава зернами тугоплавких оксидов Al_2O_3 или SiO_2 , которые схематически образуют в структуре сплава объемную «диэлектрическую сетку». Указанная сетка за счет своего внедрения в структуру сплава делит однородный по химическому составу и свойствам сплав на множество соединяющихся между собой хаотичных по форме, размерам и расположению звеньев,
35 в единую, лабиринтную, непрерывную пространственно-объемную ферромагнитомягкую «губку».

Количество звеньев указанной ферромагнитомягкой «губки», определяющее результирующее полное сопротивление материала намагниченного магнитопровода,
40 а следовательно, и результирующее сопротивление цепи электрической машины, с учетом комплекса гармонических составляющих напряженности поля, изменяется по величине в зависимости от изменения соотношения весовых объемов металлической и диэлектрической фаз в сплаве, а также от длины пути тока намагничивания, текущего по лабиринтным звеньям сплава магнитопровода. Совокупность составляющих
45 указанных изменений является источником (причиной) дискретного затухания вихревых токов и снижения дискретных значений мощности тепловых потерь от них.

Основополагающими критериями полученных экспериментальных положений являются:

50 1. Введение тугоплавких, химически инертных, диэлектрических микровключений в весовых процентах в магнитомягкий сплав, являющийся основой выплавляемого ферромагнитного материала; оно проводится от общего весового процента сплава только за счет основного железа в строгом соответствии с расчетными значениями

весовых (массовых) процентов каждого другого сырьевого компонента, входящего в химический состав сплава.

2. Одновременное дискретное повышение удельного электрического и индуктивного сопротивлений сплава выплавляемого ферромагнитного композиционного материала на основе магнитомягкого сплава проводится за счет нетрадиционного «легирования» сплава путем внедрения в матрицу расплавленного сплава строго расчетного количества весовых (массовых) процентов диэлектрических микровключений в зависимости от действующей частоты намагничивающего тока и значения индукции, наводимой магнитным полем.

3. Повышение значений плотности и магнитной индукции выплавляемого ферромагнитного композиционного материала на основе магнитомягкого сплава, по сравнению с теми же характеристиками аналогичных по химическому составу ферромагнитных композиционных материалов, получаемых методом порошковой металлургии [8, 9, 10], проводится за счет повышения диффузионной, химической и ионной активности расплавляемых при температуре $1500 \pm 100^\circ\text{C}$ металлических компонентов шихты сплава, кристаллизующегося из жидкой фазы в охлаждаемой пресс-форме, залитого в пресс-форму под действием избыточного давления окружающей среды или центробежных сил после перемешивания жидкого раствора сплава с диэлектрическими микровключениями. При этом процесс плавления шихты, перемешивания компонентов, заливки жидкой механической смеси в пресс-форму и кристаллизации жидкого металла в охлаждаемой форме происходит в вакууме или в защитной среде инертных газов.

4. Предлагаемый выплавляемый, ферромагнитный материал на основе магнитомягкого сплава обладает существенным признаком новизны, позволяющим впервые получить расчетную композиционную структуру магнитного материала непосредственно в зоне плавления чистых металлических компонентов сплава за счет искусственного введения в жидкий расплав расчетного количества (до 10 вес.%) тугоплавкой, химически инертной, диэлектрической фазы.

Кроме того, с применением плавильно-литьевого способа получения монолитных конструкций магнитопроводов электрических машин, достигается дополнительный, важный отличительный результат, позволяющий впервые получать монолитные магнитопроводы электрических машин без ограничения габаритно-весовых и энергетических характеристик магнитопроводов, а следовательно, и самих электрических машин в целом, в отличие от метода порошковой металлургии, в силу наличия там ограниченных возможностей прессового оборудования по габаритам и усилиям прессования порошков.

5. Ориентация дипольных доменов магнитной структуры материала и повышение за счет этого магнитной проницаемости сплава проводится путем текстурирования сильномагнитной (анизотропной) фазы сплава внешним магнитным полем, совмещаемым с направлением легкого намагничивания магнитопровода по замкнутому контуру в процессе термомагнитной обработки деталей.

Термомагнитная обработка магнитопроводов способствует формированию направленной текстуризации сплава и созданию за счет этого дискретной максимальной величины активной составляющей намагничивающей силы и тока в обмотке статора, пропорциональных развиваемой электромагнитной мощности, от которой зависят дискретные оптимальные пусковые и рабочие электрические и моментные характеристики электрической машины [11].

Примером выплавляемого в вакууме или в защитной среде инертного газа

ферромагнитного композиционного материала на основе магнитомягкого сплава для изготовления из него монолитного сердечника, например датчика угла, момента или монолитного магнитопровода ротора или статора синхронного (например, гистерезисного) или асинхронного электродвигателя, или электродвигателя постоянного тока является композиция на основе выплавляемого магнитомягкого сплава, например системы Fe-Al-Si - альсифер или системы Fe-Co - пермендюр, или системы Fe-Ni - пермаллой и тугоплавких, химически инертных, диэлектрических микровключений, например Al_2O_3 или SiO_2 , вводимых в структуру сплава в количестве от 0,01 до 10,0 вес.%, за счет основного железа.

Кроме того, тугоплавкую, диэлектрическую фазу можно вводить в жидкий расплав любых других магнитомягких сплавов [12].

Корректны варианты ферромагнитных композиционных материалов на основе химических соединений магнитомягких сплавов с различными редкоземельными металлами.

Пример способа изготовления монолитного магнитопровода ротора или статора электродвигателя (синхронного, асинхронного, постоянного тока) из предлагаемого выплавляемого композиционного ферромагнитомягкого материала приведен ниже и включает в себя:

- плавление при температуре $1500 \pm 100^\circ C$ компонентов первичной шихты сплава, содержащей расчетные в весовых (массовых) процентах количества алюминия (Al), кремния (Si), никеля (Ni), кобальта (Co) и железа (Fe) в вакууме или в среде инертного газа;
- введение в жидкий расплав металла расчетного в весовых (массовых) процентах количества тугоплавких, химически инертных, диэлектрических микрочастиц в виде порошка окиси алюминия (Al_2O_3) или окиси кремния (SiO_2), без нарушения действующей среды вакуума или инертного газа;
- непрерывное перемешивание жидкого расплава металла с диэлектрическими микрочастицами в вакууме или в среде инертного газа;
- перекачивание механической смеси расплава металла с диэлектрическими микрочастицами в литейную камеру в вакууме или в среде инертного газа;
- дополнительное непрерывное перемешивание жидкого расплава металла с диэлектрическими микрочастицами в вакууме или в среде инертного газа;
- литье механической смеси расплава жидкого металла с диэлектрическими микрочастицами под давлением в постоянную охлаждаемую разъемную стальную запирающуюся пресс-форму в вакууме в литейной машине под давлением или литье механической смеси в среде инертного газа за счет центробежных сил в постоянную охлаждаемую опоковую форму в центробежной литейной машине;
- изъятие охлажденной отливки из разъемной стальной пресс-формы литейной машины под давлением или из опоковой формы центробежной литейной машины;
- механическая обработка отлитой заготовки по требованиям чертежа на заготовку со снятием литников, прибылей и припусков;
- контроль формы и размеров заготовки твердости и плотности материала по требованиям чертежа на литую заготовку магнитопровода;
- отжиг и термомагнитная обработка (при необходимости) заготовок магнитопроводов для получения требуемой магнитной текстуры сплава, а также предусмотренных чертежом магнитных и физико-механических свойств материала;
- контроль формы и размеров заготовки плотности, твердости и магнитных свойств материала по требованиям чертежа на чистовую заготовку магнитопровода;

- финишная механическая обработка чистовой заготовки по требованиям чертежа на магнитопровод;
- контроль формы, шероховатости поверхностей и установочных размеров готовых деталей по требованиям чертежа на магнитопровод.

5 Неразделимое сочетание в одном научно-техническом решении нового химического состава и характеристик ферромагнитного материала двухфазной композиции, состоящей из выплавляемого магнитомягкого сплава на основе железа и тугоплавкого, химически инертного, мелкозернистого диэлектрика в количестве от 10 0,01 до 10,0 вес.%, с новым способом изготовления из указанного материала монолитных магнитопроводов различных электрических машин обеспечивает возможность широкого варьирования конструктивными, мощностными, электрическими, моментными и точностными характеристиками электродвигателей переменного и постоянного тока в диапазоне частот питающей сети от 0 Гц до 10 кГц, 15 в отличие от электродвигателей с шихтованными пакетами и витыми сердечниками в электромагнитных узлах.

Источники информации

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. 5-е изд., стереотипное / Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М., Силаева В.И. - М.: МГТУ, 2003.
2. Толмасский И.С. Металлы и сплавы для магнитных сердечников / И.С.Толмасский. - М.: Металлургия, 1971.
3. Преображенский А.А. Теория магнетизма. Магнитные материалы и элементы / А.А. Преображенский. - М.: Высшая школа, 1972.
- 25 4. Дружинин В.В. Магнитные свойства электротехнической стали / В.В.Дружинин. - М.: Энергия, 1974.
5. Осьмаков А.А. Технология и оборудование производства электрических машин. 2-е изд. / А.А.Осьмаков. - М.: Высшая школа, 1980.
- 30 6. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины. 2-е изд. / Д.Э.Брускин, А.Е.Зохорович, В.С.Хвостов. - М.: Высшая школа, 1981.
7. Чижиков В.Ю. Погрешности гиромотора, вызванные технологическим несовершенством его изготовления / В.Ю.Чижиков, Е.А.Измайлов, О.Ю.Куркина - М.: Электромеханика. Известия ВУЗов, № 4,1978.
- 35 8. И.И.Праздничков. Разработка и исследование конструкции и технологии изготовления монолитного магнитопровода статора гиромотора из композиционных ферромагнитомягких сплавов на основе систем Al-Si-Fe и Fe-Ni методом плавления-литьевой диэлектрометаллургии / И.И.Праздничков, Г.П.Левашов, В.П.Пучков // - Отчет по НИОКР: Арзамасский политехнический институт филиал 40 НГТУ, 2008.
9. Левашов Г.П. Спеченный магнитомягкий материал / Г.П.Левашов, В.В.Антошин Авторское свидетельство СССР № 1103738, 1984.
10. Левашов Г.П. Магнитный материал для магнитопровода электрических машин 45 переменного тока / Г.П.Левашов // Авторское свидетельство СССР № 1526494, 1988.
11. Делекторский Б.А. Проектирование гироскопических электродвигателей / Б.А.Делекторский, Н.З.Мастяев, И.Н.Орлов. - М.: Машиностроение, 1968.
12. Линчевский Б.В. Металлургия черных сплавов / Б.В.Линчевский, 50 А.Л.Соболевский, А.А.Кальменев. - М.: Металлургия, 1986.

Формула изобретения

1. Выплавляемый ферромагнитный материал для монолитных магнитопроводов

электрических машин, включающий матрицу из магнитомягкого сплава, в которую введена тугоплавкая, химически инертная, диэлектрическая фаза при следующем соотношении компонентов, вес. %:

5	диэлектрическая фаза	0,01-10,0
	магнитомягкий сплав	остальное

2. Материал по п.1, отличающийся тем, что в качестве матрицы из магнитомягкого сплава использован анизотропный сплав с магнитной текстурой, полученной в результате воздействия на него постоянного или переменного магнитного поля, прикладываемого в процессе термомагнитной обработки.

3. Материал по п.1, отличающийся тем, что в качестве диэлектрической фазы использован порошок окиси алюминия Al_2O_3 или окиси кремния SiO_2 .

4. Материал по п.1, отличающийся тем, что содержание диэлектрической фазы в матрице магнитомягкого сплава пропорционально действующей дискретной частоте и индукции магнитного поля, наводимой в сплаве намагничивающим током.

5. Материал по п.1, отличающийся тем, что для изготовления из него магнитопровода электрических машин постоянного тока содержание диэлектрической фазы составляет 0,01-0,5 вес. %.

6. Материал по п.1, отличающийся тем, что для изготовления из него магнитопровода электрических машин переменного тока содержание диэлектрической фазы составляет 0,1-10,0 вес. %.

7. Способ изготовления монолитных магнитопроводов электрических машин из материала по п.1, включающий расплавление при температуре $1500 \pm 100^\circ C$ дозированных компонентов первичной шихты магнитомягкого сплава, последующее введение в расплав дозированного количества тугоплавкой, химически инертной, диэлектрической фазы в виде порошка и его перемешивание с расплавом, перекачивание полученной механической смеси в литейную камеру с дополнительным перемешиванием в ней, последующее ее заливание в разъемную стальную пресс-форму или в постоянную опоковую форму, ее охлаждение в них и извлечение полученных отвердевших и остывших отливок из форм, которые подвергают механической и термической обработке.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что расплавление компонентов первичной шихты магнитомягкого сплава, введение в расплав дозированного количества тугоплавкой, химически инертной, диэлектрической фазы в виде порошка, его последующее перемешивание с расплавом, литье полученной механической смеси в формы и охлаждение отливок в формах проводят в вакууме или в среде защитного инертного газа.

9. Способ по п.7, отличающийся тем, что заливание упомянутой механической смеси в охлаждаемую разъемную стальную пресс-форму проводят на литейной машине под давлением.

10. Способ по п.7, отличающийся тем, что заливание упомянутой механической смеси в охлаждаемую постоянную опоковую форму проводят на центробежной литейной машине.

11. Способ по п.7, отличающийся тем, что охлаждение отливки проводят до температуры $700-800^\circ C$, а после ее извлечения из формы проводят ее продавливание через профилирующую матрицу или насадку экструдера.

12. Способ по п.7, отличающийся тем, что в качестве термической обработки проводят отжиг, при котором отливки нагревают на $30-50^\circ C$ выше температуры

фазовых магнитных превращений в сплаве, затем их выдерживают в течение 20-30 мин, после чего их изымают из зоны нагрева и охлаждают, проводя термомагнитную обработку под действием тока на намагничивающей установке.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50