

НАУЧНЫЙ СОВЕТ
«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ И СПЛАВОВ

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

*XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ПОСТОЯННЫМ МАГНИТАМ*

Суздаль 21-25 сентября 2009 г.



ТЕЗИСЫ

МОСКВА 2009

УДК 621.318.2
ББК 34.2

ISBN 978-5-87623-288-5

© А.С. Лилеев, А.С. Старикова, 2009
© Оформление ИД МИСиС

SCIENTIFIC COUNCIL
OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
ON PHYSICS OF CONDENSED MEDIUM

STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY
“MOSCOW INSTITUTE OF STEEL AND ALLOYS”

MINING AND METALLURGICAL SECTION
OF RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL SCIENCES

***XVII-th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERMANENT
MAGNETS***

September 21 – 25, 2009
Suzdal, Russia



BOOKS OF ABSTRACTS

MOSCOW 2009

ОРГКОМИТЕТ

Председатель:

А.С. Лилеев

- д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов», действительный член РАЕН, Москва, Россия.

Сопредседатели:

А.А.Аксенов

д.т.н. проф. директор института технологии материалов Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов», Москва, Россия

А.Г.Дормидонтов

к.т.н., директор ФГУП «Спецмагнит», г. Москва, Россия;

Члены оргкомитета:

Н.В. Кудреватых

- д.ф.-м.н., директор НИИ физики и прикладной математики Уральского государственного университета, Екатеринбург, Россия

П.А. Курбатов

- д.т.н., профессор, зав. кафедрой Московского энергетического института, Москва, Россия

Х. Лонгин

- вице-президент Федерации индустрии Австрии, Вена, Австрия

С.А. Никитин

- д.ф.-м.н., профессор Московского государственного университета, Москва, Россия

С.А. Перминов

к.ф.-м.н., доцент Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов», Москва, Россия

И.Д. Подольский

к.т.н., ФГУП «Спецмагнит», Москва, Россия

М.Райзнер

профессор, Венского технологического университета, Вена, Австрия

А.Г.Савченко

к.ф.м.н., зам начальника управления - начальник отдела Управления поисковых исследований и новых технологий Роснауки, г.Москва, Россия

В.А. Сеин

- к.т.н., главный технолог ФГУП «Спецмагнит», Москва, Россия

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman:

- A.S.Lileev - D.Sc., Professor, Academician of RANS, Chief of Department, State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow, Russia

Co-Chairmen:

- A.A.Aksenov D.Sc., Professor, Director of Institute of Materials Technology, State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow, Russia
- A.G.Dormidontov Ph.D., General director FSUE "Spetsmagnit", Moscow, Russia

Members of organizing committee:

- N.V.Kudrevatykh - D.Sc., Chief of Institute of Physics and Applied Mathematics, Ekaterinburg, Russia
- P.A.Kurbatov - D.Sc., Professor, Chief of Department Moscow Power Institute, Moscow, Russia.
- H.Longin - Dr., Vice-president of the Federation of Austrian Industry, Viena, Austria.
- S.A.Nikitin - D.Sc., Professor, Moscow State University, Moscow, Russia.
- S.A.Perminov Ph.D, Dozent, State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow, Russia.
- I.D.Podolsky Ph.D., FSUE "Spetsmagnit", Moscow, Russia
- M. Reisner Dr., Professor, Viena University of Technology, Viena, Austria.
- A.G.Savchenko Ph.D, Departments Deputy Head, Federal Agency for Science and Innovation Moscow, Russia.
- V.A.Sein - Ph.D., Head Technologist, FSUE "Spetsmagnit", Moscow, Russia

- А.М. Тишин - д.ф.-м.н., профессор Московского государственного университета,
Москва, Россия
- И.Н. Чугуева - заместитель председателя Научного Совета РАН по физике конденсированных сред, Москва, Россия
- В. Штайнер - профессор, Венского технологического университета, Вена, Австрия

***Ученые
секретари:***

-
- А.С.Старикова - студент Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов», дублер Министра Правительства Москвы, Москва, Россия
- И.В.Щетинин - студент Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов», Москва, Россия

- A.M.Tishin - D.Sc., Senior Research Officer of Moscow State University, Moscow, Russia
- I.N.Chugueva - Vice-chairman of Scientific Council RAS by condensed-matter physics
- W.Steiner - Professor, Viena University of Technology, Viena, Austria

Scientific Secretary:

- A.S.Starikova - Scientific secretary, student of State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Understudy of Minister of Moscow Government, Moscow, Russia
- I.V.Schetinin - Scientific secretary, student of State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Moscow, Russia

**ОРГКОМИТЕТ БЛАГОДАРИТ ЗА ФИНАНСОВУЮ ПОДДЕРЖКУ
КОНФЕРЕНЦИИ**

СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



Государственный технологический университет
"Московский институт стали и сплавов"



Группа компаний
«Перспективные магнитные технологии и кон-
сультации»



ФГУП «СПЕЦМАГНИТ»



Гостинично-туристский комплекс "ТУРЦЕНТР"

**ORGANIZING COMMITTEE EXPRESSES ITS APPRECIATION ON
THE FOLLOWING ORGANIZATIONS FOR THEIR SUPPORT**

SPONSORS OF THE CONFERENCE



RUSSIAN FOUNDATION
FOR BASIC RESEARCH



State Technological University "Moscow Institute of
Steel and Alloys"



AMT&C Group



Federal State Unitary Enterprise "Spetsmagnit"



OJSC "TOURCENTER"



ФГУП «СПЕЦМАГНИТ» — разработчик и производитель постоянных магнитов и магнитных элементов и систем для электроники, электротехники и приборостроения, создано в 1963 г. Предприятие выпускает все современные виды постоянных магнитов за исключением ферритов, а именно:

- ≥ магниты на основе сплавов железо-алюминий-никель-медь-кобальт — ЮНДК (Alnico);
- ≥ магниты на основе сплавов железо-хром-кобальт — ХК;
- ≥ магниты на основе сплавов самарий-кобальт КС37 и КС25ДЦ — SmCo_5 и $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Me})_{17}$;
- ≥ магниты на основе сплавов неодим-железо-бор — Nd-Fe-B.

На основе магнитов собственного производства предприятие выпускает магнитные элементы и системы (МЭС) для различных областей применения:

- ≥ МЭС для фокусировки и транспорта электронных потоков электровакуумных приборов;
- ≥ магнитные сепараторы и металлоотделители (железоотделители) для очистки от ферромагнитных загрязнений продукции пищевых, кормовых, химических, стекольных производств и производства строительных материалов;
- ≥ МЭС для обработки воды и водных растворов в целях предотвращения образования и ликвидации уже отложившейся накипи;
- ≥ магнитные муфты и магнитные фильтры;
- ≥ МЭС роторов электрических машин;
- ≥ МЭС диагностических комплексов неразрушающего контроля;
- ≥ МЭС грузоподъемных механизмов и пр.

В интересах и по требованиям Заказчика **ФГУП «СПЕЦМАГНИТ»** осуществляет комплексные решения — расчет, оптимизацию, проектирование, производство, поставку магнитных систем и элементов.

С 1992 года на предприятии действует Государственный центр испытаний средств магнитных измерений «Магнетест» — единственный в стране специализированный центр магнитных измерений магнитотвердых материалов и постоянных магнитов. ГЦИ СИ «Магнетест» аккредитован Госстандартом РФ в 1993 и 2003 гг. и внесён в Госреестр СИ (рег. № 30019-93/03).

Предприятие является коммерческой научно-производственной организацией и находится в ведомственном подчинении Управления радиоэлектронной промышленности и систем управления Федерального Агентства по промышленности (РОСПРОМа).



Группа AMT&C (AMT&C Group Ltd.) www.amtc.ru начала работу на российском рынке с 1999 г. В настоящий момент в нее входит следующие 9 компаний:

ООО «Полимагнит» (Москва), ООО «Полимагнит» (Киев), ООО «Полимагнит» (Новосибирск), представительство ООО «Полимагнит» в Санкт-Петербурге, ООО «Перспективные магнитные технологии и консультации» (Троицк), ООО «Магнетит» (Боровск), ООО «Поволжский магнитный центр» (Саратов), ООО АМТС (Москва) и ООО «Фрязинские магнитные технологии» (Фрязино).

ООО «Полимагнит», Москва имеет сертификат соответствия системы менеджмента качества ИСО 9001:200 и является одним из ведущих поставщиков таких высококачественных магнитных материалов, как: гибкие полимерные магнитные материалы, магнитопласты, ферриты, магнитные материалы самого широкого производственного назначения на основе сплавов NdFeB, AlNiCo, SmCo. Компания является авторизованным дистрибьютором Group Arnold (крупнейшим мировым производителем магнитных материалов) в России и эксклюзивным дистрибьютором по России, Украине и Белоруссии компании Tianjiao International Trading Co. (занимающейся добычей и переработкой редкоземельных материалов и владеющей 77% мировых запасов редкоземельных металлов), и поставляет различное сырье, используемое для производства магнитов и магнитопластов, а так же в научных целях. В числе покупателей магнитных материалов крупнейшие производители автокомплекующих и нефтедобывающего оборудования, приборостроительные, научно-производственные предприятия.

Группа компаний AMT&C является признанным лидером на постсоветском пространстве в сфере новых магнитных материалов и технологий, специализируясь на разработке и изготовлении наукоемкого оборудования и изделий промышленного назначения на основе постоянных магнитов.

R&D активность группы AMT&C базируется на 27-летнем научно-практическом опыте в области магнетизма и его приложений и сосредоточена на таких современных областях прикладного магнетизма, как: магнитное охлаждение, научное приборостроение, магнитная сепарация, лечение рака и прецизионная десорбция лекарственных препаратов, сорбция загрязнений, методы изготовления наноразмерных и наноструктурированных материалов.

Потенциал группы AMT&C реализован, также, в разработке и конструировании широкого спектра источников магнитного поля для науки и промышленности. Группа более 10 лет производит магнитные сепараторы и железоотделители почти всех существующих типов и моделей, а также высококачественные магнитопласты. Все компании Группы AMT&C оказывают консалтинговые услуги по применению магнитов и магнитных материалов в своей сфере деятельности. Авторские права и право на коммерческое использование, созданных магнитных технологий и материалов, товарных знаков оформлены в виде 23 патентов, сертификатов и разрешений. В компаниях группы AMT&C действуют самые высокие международные стандарты качества.



Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) создан указом Президента Российской Федерации № 426 от 27 апреля 1992 года по инициативе крупнейших ученых страны.

Российский фонд фундаментальных исследований – самоуправляемая государственная некоммерческая организация в форме федерального учреждения, находящегося в ведении Правительства Российской Федерации, основной целью которой является поддержка научно-исследовательских работ по всем направлениям фундаментальной науки на конкурсной основе, и которая призвана построить новые отношения между учеными и государством.

Создание РФФИ означало рождение принципиально новой для российской науки организационной формы – открывшей ученым более широкие возможности творческого самовыражения, позволившей им самостоятельно осуществить выбор тематики исследований, создать творческие коллективы и сконцентрировать средства на наиболее перспективных работах.

Во главе РФФИ в разные годы стояли крупные российские ученые директор-организатор Фонда академик А. А. Гончар, академик В. Е. Фортвов, академик М. В. Алфимов. С декабря 2004 г. Российский фонд фундаментальных исследований возглавил член-корреспондент РАН В. Ю. Хомич.

За период с 1992 по 2005 гг. РФФИ провел тринадцать циклов конкурсов по всем разделам естественных и гуманитарных наук. С РФФИ взаимодействовали ученые из более чем 4000 организаций России. При поддержке РФФИ в 1993-2004 гг. проведено свыше 4500 научных конференций и семинаров в России. За счет грантов РФФИ около 13000 ученых России выезжали для участия в конференциях за рубеж. На средства РФФИ с 1993 по 2004 гг. поддержано около 3000 издательских проектов, издано 2100 книг. С 1998 по 2005 гг. при участии РФФИ проведено 15 семинаров на тему “Результаты фундаментальных исследований для инвестиций”.

К 2005 г. общее количество проводимых Фондом конкурсов достигло 30, в том числе 11 основных, 11 международных и 8 региональных. Практическая реализация новых для нашей страны принципов позволила выявить и поддержать наиболее талантливую и жизнеспособную часть ученых, ведущих первоклассные фундаментальные исследования в научных учреждениях государственных академий, в университетах, вузах и прикладных институтах.

Универсальный, экономичный, высокочувствительный,
настольный дифрактометр MiniFlex II Ригаку

Rigaku



Назначение:

Универсальный порошковый рентгеновский дифрактометр для определения минералогического состава поликристаллических материалов. Успешно применяется в цементной, фармацевтической, горнодобывающей, металлургической промышленности, в лабораториях научно-исследовательских институтов, криминалистике. Может использоваться для обучения персонала заводских лабораторий и студентов учебных заведений.

Технические характеристики:

Мощность источника – 450Вт (фиксированная, $U=30кВ$, $I=15мА$, трубка с медным анодом в качестве стандартной), типы трубок – Toshiba A-20, 41.

Мощность потребления – 1кВт, однофазное питание 110В, 50Гц, стабильность 0.05% при колебаниях тока и напряжения в пределах $\pm 10\%$.

Гониометр – вертикального типа, радиус 150мм, сцепленные оси $\theta/2\theta$, диапазон углов сканирования $-3^0 \sim +145^0$ (2θ), диапазон углов измерений $+2^0 \sim +145^0$ (2θ), минимальный шаг сканирования 0.01^0 , скорость сканирования $0.01^0 \sim 100^0/мин$ (2θ). Приемные щели и щели на выходной пучок фиксированные, имеется режим варьiruемой щели на выходной пучок при углах $2\theta < 20^0$. Разрешение 0.01^0 , скорость позиционирования $500^0/мин$, полностью автоматический и ручной режим управления гониометром и приставками.

Детектор – сцинтилляционный малогабаритный, NaI (Tl) на входе, апертура 23мм, линейность – 700 000 имп/сек (по заказу: высокоскоростной энергодисперсионный детектор).

Опции: монохроматор на дифрагированный пучок, устройство вращения образца, автозагрузчик на 6 образцов, замкнутая система водяного охлаждения с мощностью потребления 1кВт и однофазным питанием 110В, 50Гц

Габариты, вес - 560мм (ширина)· 375мм (глубина)· 656мм (высота), 76кг

Конструктивные особенности:

1. Автоматическая юстировка дифрактометра
2. Высокая интенсивность дифракционных линий за счет большой апертуры счетчика и малого радиуса гониометра (интенсивность при мощности 450Вт эквивалентна интенсивности при мощности 2кВт для стандартного гониометра с радиусом 185мм)
3. Высокая точность определения положения линий за счет специальной программы корректировки углов по стандарту в процессе проведения измерений
4. Возможность установки кристалл-анализатора
5. Запатентованная система вертикального перемещения трубки для проведения юстировки
6. Особопрочный корпус, обеспечивающий сохранность прибора при перевозке
7. Быстрое включение источника, отсутствие процедуры тренировки трубки
8. Мощная система защиты от различных перегрузок, система диагностики работоспособности основных узлов прибора в режиме реального времени

Программное обеспечение:

1. Универсальная программа управления работой дифрактометра и сбора данных, используемая на других типах дифрактометров Ригаку
2. Запись дифрактограмм в стандартном формате позволяет использовать любые программы обработки.
3. Фирменный пакет программ обработки, включающий в себя:
4. Автоматизированный качественный рентгенофазовый анализ
5. Профильный анализ, определение неоднородной деформации и размеров кристаллитов
6. Количественный фазовый анализ методом внешнего стандарта (RIR)
7. База данных PDF 2/4
8. Программа управления базой данных
9. Количественный фазовый анализ методом добавок и методом Ритвельда
10. Специализированная программа определения загрязнений окружающей среды

Soliste

123610, Россия, Москва, Краснопресненская наб., 12,
тел.: +7 495 967 0959, факс: +7 495 967 0960, e-mail: info@soliste.ru, URL:
<http://www.soliste.ru>

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ А	ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ, ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ И СТРУКТУРА СПЛАВОВ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ	
A-01-01	МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЕ ВЗАИМО- ДЕЙСТВИЕ ЗЕРЕН И ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В Nd-Fe-B ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ <i>Ю.Г.Пастушенков, К.П.Скоков, В.В.Симонов, Р.Ф.Смирнов</i>	36
A-01-02	ДОМЕНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ Sm-Zr-Co-Cu-Fe <i>Ю.Г.Пастушенков, П.А.Зезюлина, М.Б.Ляхова, Е.М.Семенова</i>	38
A-01-03	ВЛИЯНИЕ СЛАБОМАГНИТНЫХ, НЕМАГНИТНЫХ И НЕВЕРНООРИЕНТИРОВАННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Nd-Fe-B <i>О.А. Ариничева, А.С. Старикова, А.С. Лилеев</i>	40
A-01-04	ГРАФИКИ ХЕНКЕЛЯ ДЛЯ МАГНИТО- ТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБЛАДАЮЩИХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ <i>А.С.Лилеев, А.Е.Степанов, И.В.Паничкина</i>	42
A-01-05	КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СПЛА- ВОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ SmCo₅ <i>В.П. Менушенков, Т.А. Свиридова, Е.В. Шелехов, Л.М. Белова</i>	44
A-01-06	СТРУКТУРА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ НАМАГНИЧИВАНИЯ В СВЕРХВЫСОКИХ ПОЛЯХ <i>Любина Ю.В., Столяров В.Л., Щетинин И.В., Ягодкин Ю.Д.</i>	46
A-01-07	ДОМЕННЫЕ ГРАНИЦЫ В ПОЛЯХ ИЗО- ТРОПНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ <i>В.Г. Мельников, Н.М. Игнатенко, А.А. Родионов</i>	48

SECTION A	MAGNETISM, REMAGNETIZATION PROCESSES AND STRUCTURE OF PERMANENT MAGNET ALLOYS	
A-01-01	MAGNETOSTATIC GRAIN INTERACTION IN Nd-Fe-B PERMANENT MAGNETS AND MAGNETISATION REVERSAL PROCESSES <i>Yu.G.Pastushenkov, K.P.Skokov, V.V.Simonov, R.F.Smirnov</i>	37
A-01-02	INTERACTION DOMAINS IN Sm-Zr-Co-Cu-Fe PERMANENT MAGNETS <i>Yu.G.Pastushenkov, P.A.Zeziulina, M.B.Lyakhova, E.M.Semenova</i>	39
A-01-03	INFLUENCE OF WEAK-MAGNETIC, NON-MAGNETIC AND INCORRECTLY-ORIENTED GRAINS ON REMAGNETIZATION PROCESSES OF Nd-Fe-B ALLOYS <i>O.A. Arinicheva, A.S. Starikova, A.S. Lileev</i>	41
A-01-04	HENKEL PLOTS FOR HARD-MAGNETIC MATERIALS WITH DIFFERENT MAGNETIZATION MECHANISM <i>A.S.Lileev, A.E.Stepanov, I.V.Panichkina</i>	43
A-01-05	CRYSTALLINE STRUCTURE OF SmCo₅ BASED ALLOYS <i>V.P. Menushenkov, T.A. Sviridova, E.V. Shelekhov, L.M. Belova</i>	45
A-01-06	THE STRUCTURE OF NANOCRYSTALLINE MATERIALS AND PECULIARITIES OF THEIR MAGNETISATION BEHAVIOUR IN HIGH MAGNETIC FIELDS <i>J. Lyubina, V.L. Stolyarov, I.V. Shetinin, Yu.D. Yagodkin</i>	47
A-01-07	DOMAIN BOUNDARIES IN FIELDS OF THE ISOTROPIC EXTERIOR ACTIONS <i>V.G. Melnikov, N.M. Ignatenko, A.A. Rodionov</i>	49

A-01-08	ВЛИЯНИЕ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОАНИЗОТРОПНЫХ ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ СИСТЕМЫ Nd-Fe-B <i>А.С. Старикова, А.С. Лилеев</i>	50
A-01-09C	ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ СПИН- РЕШЕТОЧНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ЖИДКОГО ГАЛЛИЯ В ИСКУССТВЕННОМ ОПАЛЕ <i>Д.А. Яськов, Е.В. Чарная, D. Michel, Ю. А. Кумзеров</i>	52
A-01-10C	СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И МАГ- НИТНОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ В R(Co,Cu)₅ <i>П.С. Салев, Ю.В. Кузнецова, О.Б. Дегтева, Н.П. Супонев</i>	54
A-01-11C	РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИНДУКЦИИ МАГНИТОВ PR-DY-GD-FE-CO-В МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛЯ <i>В.П. Пискорский, Р.А. Валеев, Е.А. Давыдова, М.В. Репина</i>	56
A-02-01	ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ОТЖИГА НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ Nd-Fe-B <i>А.Г. Попов, Д.Ю. Василенко, Т.З. Пузанова, М.В. Дьячков, А.В. Власюга, В.П. Вяткин</i>	58
A-02-02	КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В СПЕЧЕННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МАГНИТАХ <i>А.Г. Попов, Н.В. Кудреватых, В.П. Вяткин, Д.Ю. Василенко, Д.Ю. Братушев, К.Ю. Шуняев, Т.Л. Михайлова</i>	60
A-02-03	ФОРМИРОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ СТЕПЕНИ В МАГНИТАХ Nd-Fe-B С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ <i>А.Г. Попов, Н.В. Кудреватых, Д.Ю. Василенко, Д.Ю. Братушев, В.П. Вяткин, Е.Г. Герасимов, П.Б. Терентьев</i>	62
A-02-04	МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАКА- ЛЕННЫХ СПЛАВОВ SmFe_{11-x}Ga_xC_{1.25} (2 ≤ x ≤ 5) <i>А.Г. Попов, Д.И. Горбунов, В.С. Гавико, Л.А. Сташкова</i>	64

A-01-08	INFLUENCE OF MAGNITOSTATIC INTERACTION ON FORMATION OF DOMAIN STRUCTURE HIGH ANISOTROPIC SINGLE-AXIS ND-FE-B FERROMAGNETICS <i>A.S. Starikova, A.S. Lileev</i>	51
A-01-09C	NUCLEAR SPIN-LATTICE RELAXATION STUDY OF LIQUID GALLIUM IN THE ARTIFICIAL OPAL <i>D.A. Yaskov, E.V. Charnaya, D. Michel, Yu. A. Kumzerov</i>	53
A-01-10C	STRUCTURAL PECULIARITIES AND MAGNETIC AFTEREFFECT IN R(Co,Cu)₅ <i>P.S. Salyov, U.V. Kuznecova, O.B. Dyogteva, N.P. Suponev</i>	55
A-01-11C	CALCULATION OF THE TEMPERATURE COEFFICIENT OF INDUCTION Pr-Dy-Gd-Fe-Co-B MAGNETS BY MOLECULAR FIELD THEORY <i>V.P. Piskorskii, R.A. Valeev, E.A. Davidova, M.V. Repina</i>	57
A-02-01	DIFFUSION ANNEALING INFLUENCE ON PROPERTIES OF THE Nd-Fe-B SINTERED MAGNETS <i>A.G. Popov, D.Yu. Vasilenko, T.Z. Puzanova, M.V. Dyachkov, A.V. Vlasuga, V.P. Vyatkin</i>	59
A-02-02	CONTROL OF OXYGEN CONTENT IN SINTERED RARE-EARTH MAGNETS <i>A.G. Popov, N.V. Kudrevatykh, V.P. Vyatkin, D.Yu. Vasilenko, D.Yu. Bratushev, K.Yu. Shunyaev, T.L. Mikhailova</i>	61
A-02-03	FORMATION OF TEXTURE AND DETERMINATION OF ITS DEGREE IN THE Nd-Fe-B MAGNETS USING PULSE MAGNETIC FIELDS <i>A.G. Popov, N.V. Kudrevatykh, D.Yu. Vasilenko, D.Yu. Bratushev, V.P. Vyatkin, E.G. Gerasimov, P.B. Terent'ev</i>	63
A-02-04	MAGNETIC PROPERTIES OF MELT-SPUN SmFe_{11-x}Ga_xC_{1.25} (2 ≤ x ≤ 5) ALLOYS <i>A.G. Popov, D.I. Gorbunov, V.S. Gaviko, L.A. Stashkova</i>	65

A-02-05	ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОТВЕРДЫХ И МАГНИТОМЯГКИХ КОМПОЗИТОВ Nd-Fe-B/Fe	66
	<i>Е.Н.Тарасов, А.В.Зинин, Я.В.Панова, М.К.Шарин</i>	
A-02-06	ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ МАГНИТОВ ТИПА (Nd,R)₂(Fe,M)₁₄(B,C)	68
	<i>А.А. Лукин, А.Г. Дормидонтов, С.Б. Мухо, П.С. Перевоицков, К.Л. Сергеев, С.В. Сергеев</i>	
A-02-07	ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАГНИТОТВЕРДЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ МАРОК БЗМП И MQP-B	70
	<i>Н.В.Кудреватых, А.С.Волегов, А.В.Глебов, С.В.Андреев, В.Г.Пушин, П.Е.Маркин, Д.С.Незнахин</i>	
A-02-08	РЕСТАВРАЦИЯ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ В ПОРОШКАХ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ Nd-Fe-B	72
	<i>Е.Н. Тарасов, А.В. Зинин, Я.В. Панова, М.К. Шарин, С.В. Андреев, О.А. Миляев</i>	
A-02-09C	ЭФФЕКТ ВЕСТЕНДОРФА НА МАГНИТАХ Pr(Nd)-Dy-Ce-Fe-B	74
	<i>В.П. Пискорский, Р.А. Валеев, Г.С. Бурханов, И.С. Терешина, Е.А. Давыдова, М.В. Репина, А.В. Бузенко</i>	
A-02-10C	СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ТОНКИХ СЛОЕВ Nd – Fe – B	76
	<i>А.К.Богуш, О.Ф.Демиденко, А.И.Галяс, Г.И.Маковецкий, К.И.Янушкевич</i>	
A-03-01	СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ТИПА X30K15M3T	78
	<i>В.С. Шубаков, Д.Г. Жуков</i>	
A-03-02	РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОЕ, ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ И МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ Fe₂NiAl	80
	<i>В.П. Менушенков, Т.А. Свиридова, Е.В. Шелехов, А.О. Родин</i>	

A-02-05	RESEARCH OF HARD MAGNETIC AND SOFT MAGNETIC OF COMPOS Nd-Fe-B/Fe	67
	<i>E.N.Tarasov, A.V.Zinin, Ya.V.Panova, M.K.Sharin</i>	
A-02-06	PECULIARITIES OF REMAGNETIZATION AND STABILITY OF (Nd,R)₂(Fe,M)₁₄(B,C) MAGNETS	69
	<i>A.A. Lukin, A.G. Dormidontov, S.B. Mukho, P.S. Perevoschikov, K.L. Sergeev, S.V. Sergeev</i>	
A-02-07	MAGNETIC PROPERTIES TEMPERETURE DEPENDENCES OF RARE-EARTH NANOCRYSTALLINE HARD MAGNETIC ALLOYS OF BZMP AND MQP-B BRANDS	71
	<i>N.V.Kudrevatykh, A.S.Volegov, A.V.Glebov, S.V.Andreev, V.G.Pushin, P.E.Markin, D.S.Neznakhin</i>	
A-02-08	RESTORATION OF COERCIVITY FORCE IN POWDERS FROM SINTERED PERMANENT MAGNETS Nd-Fe-B	73
	<i>E.N.Tarasov, A.V.Zinin, Ya.V.Panova, M.K.Sharin, S.V.Andreev, O.A.Milyaev</i>	
A-02-09C	EFFECT OF WESTENDORP ON MAGNETS Pr(Nd)-Dy-Ce-Fe-B	75
	<i>V.P. Piskorskii, R.A. Valeev, G.S. Burchanov, I.S. Tere- schina, E.A. Davidova, M.V. Repina, A.V. Buzenkov</i>	
A-02-10C	SYNTHESIS AND PROPERTIES OF Nd-Fe-B THIN LAYERS	77
	<i>A.K.Bogush, O.F.Demidenko, A.I.Galyas, G.I.Makovetskii, K.I.Yanushkevich</i>	
A-03-01	STRUCTURAL TRANSFORMATIONS AND MAGNETIC PROPERTIES OF Fe-30Co-15Cr-3Mo-1Ti ALLOY	79
	<i>V.S. Shubakov, D.G. Zhukov</i>	
A-03-02	X-RAY, TEM AND MÖSSBAUER STUDIES OF Fe₂NiAl ALLOY	81
	<i>V.P. Menushenkov, T.A. Sviridova, A.O. Rodin</i>	

A-03-03	ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНОГО СОСТОЯНИЯ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ Fe-Cr-Co-Mo <i>Малинина Р.И., Ушакова О.А, Полев И.Е., Фрадкин С.В.</i>	82
A-03-04	ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ <i>С.В.Михайлин</i>	84
A-03-05	ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПОРОШКОВ СТРОНЦИЕВОГО ФЕРРИТА С НАНО- КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ <i>С.В. Кетов, В.П.Менушенков, Ю.Д. Ягодкин</i>	86
A-03-06	ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАГНИТО- ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Fe₃O₄ <i>Е.С. Шандровская, Т.В. Дятлова, Ю.Д.Ягодкин</i>	88
A-03-07	ВЫСКОКОЭРЦИТИВНЫЕ ПЛЁНКИ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ НАНОМЕТРОВЫХ ТОЛЩИН <i>М.В.Логунов, М.В.Герасимов, А.В.Голубьев, П.М.Мальшиев</i>	90
A-03-08C	ТЕРМОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ Fe-30 %Cr-15 %Co-(1-5) %Mo-0,5 %Ti <i>Перминов А.С., Малинина Р.И., Чередниченко И.В., Шубаков В.С., Жуков Д.Г.</i>	92
A-03-09C	МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДА В СПЛАВЕ Fe-Cr-Co <i>А.С. Перминов, С.О. Масленников, А.С. Лилеев, Д.Г. Жуков, Е.А. Шуваева, В.Л. Столяров, В.Ю. Введенский, Е.С. Малютин</i>	94

A-03-03	SPECIFICITIES OF HIGH COERCIVE STATE FORMATION IN NANOCRYSTALLINE ALLOYS FOR PERMANENT MAGNETS Fe-Cr-Co-Mo	83
	<i>R.I. Malinina, O.A. Ushakova, I. Polev, S. Fradkin</i>	
A-03-04	RECEPTION OF MATERIALS FOR PERMANENT MAGNETS ON THE BASIS OF NANO – SIZE POWDERS	85
	<i>S.V. Mihajlin</i>	
A-03-05	FORMATION AND INVESTIGATION OF STRONTIUM FERRITE ANISOTROPIC POWDER WITH NANOCRYSTALLINE STRUCTURE	87
	<i>S.V. Ketov, V.P. Menushenkov, Yu.D. Yagodkin</i>	
A-03-06	PREPARATION AND INVESTIGATION OF HARD MAGNETIC NANOCRYSTALLINE ALLOYS ON THE BASIS OF Fe₃O₄	89
	<i>E.S. Shandrovskaya, T.V. Djatlova, Yu.D. Yagodkin</i>	
A-03-07	HIGH COERCIVITY FERRITE-GARNET FILMS WITH NANOMETER THICKNESS	91
	<i>M.V. Logunov, M.V. Gerasimov, A.V. Golub'ev, and P.M. Malyshev</i>	
A-03-08C	THERMAL MAGNETIC TREATMENT AND MAGNETIC PROPERTIES OF Fe-30 %Cr-15 %Co-(1-5) %Mo-0,5 %Ti ALLOYS	93
	<i>A.S. Perminov, R.I. Malinina, I.V. Cherednichenko, V.S. Shubakov, D.G. Zhukov</i>	
A-03-09C	DISINTEGRATION MODELLING IN ALLOY Fe-Cr-Co	95
	<i>A.S. Perminov, S.O. Maslennikov, A.S. Lileev, D.G. hukov, E.A. Shuvaeva, V.L. Stol'yarov, V.Yu. Vvedenskiy, E.S. Malyutina</i>	

СЕКЦИЯ В		
	ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ	
В-01-01	ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ NdFeB с (ВН) max до 360 кДж/м³ (45 МГц·Э) <i>В.В. Котунов, П.В. Чернов, Ю.Г. Путилов</i>	98
В-01-02	ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЧЕННЫХ СПЛАВОВ ND-FE-B, ПЕРЕРАБОТАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ <i>С.А.Мельников, В.П.Пискорский, Р.А.Валеев, С.И.Иванов, О.Г.Оспенникова, А.П.Паршин, В.В.Шаталов</i>	100
В-01-03	ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК DyM (M-Cd, Sc, Hf, V, Cu, Zr, Co) НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ Nd-Fe-B <i>Е.Н. Тарасов А.В. Зинин, Я.В. Панова, М.К. Шарин, С.В. Андреев, О.А. Миляев</i>	102
В-01-04	ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ HDDR-ПРОЦЕССА В СПЛАВАХ Nd-Fe-B ПО ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СХЕМЕ <i>Б.Е.Винтайкин, В.В.Котунов, В.С.Крапошин, С.П.Щербаков, Н.В.Иванова, В.Г.Субботи</i>	104
В-01-05	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАГНИТОВ НАНОСТРУКТУРНОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ КОМПОНЕНТОВ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ <i>А.Г. Голубков, К. В. Лабазников, В.В. Смирнов, Смирнова В.В.</i>	106
В-01-06	НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МАКРО-, МИКРО- И НАНОРЕОЛОГИИ АНИЗОТРОПНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>И.А. Мельников, А.Г. Голубков, Б.В. Полеготченков, К.О. Солошенко</i>	108

SECTION B	PHYSICAL FUNDAMENTALS OF PERMANENT MAGNET MANUFACTURING	
B-01-01	INDUSTRIAL USE OF TECHNOLOGICAL PRODUCTION LINES OF HIGH ENERGY CONSTANT MAGNETS NdFeB c (BH) max to 360 kWatt-second/m³ (45 milli gaus Oesterd) <i>V.V. Kotunov, P.V. Chernov, Yu.G. Putilov</i>	99
B-01-02	INVESTIGATION OF AN OPPORTUNITY OF MANUFACTURING SINTERED MAGNETS FROM WASTE PRODUCTS SINTERED OF ALLOYS ND-FE-B TREATED WITH USE OF HYDROGEN PROCESSING <i>S.A.Melnikov, V.P. Piskorsky, P.A. Valeev, S.I. Ivanov, O.G. Ospennikova, A.P.Parshin, V.V. Shatalov.</i>	101
B-01-03	INFLUENCE OF THE ADDITIVES DyM (M-Cd, Sc, Hf, V, Cu, Zr, Co) ON CHARACTERISTIC SINTERED MAGNETS Nd-Fe-B <i>N.V. Basov, A.V. Zinin, Ya.V. Panova, M.K. Sharin, S.V. Andreev, O.A. Milyaev</i>	103
B-01-04	STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES INVESTIGATION OF THE Nd-Fe-B ALLOYS DURING THE ISOTHERMAL VARIANT OF THE HDDR-PROCESS <i>B.E.Vintaikin, V.V. Kotunov, S.P. Tscherbakov, N.V. Ivanova, V.S. Kraposhin, V.G. Subbotin</i>	105
B-01-05	INCREASE OF THE EFFECTIVENESS OF ANISOTROPIC POLYMERIC MAGNETS BY THE NANOSTRUCTURAL MODIFICATION OF THE COMPONENTS ON THE BORDER OF THE PHASES DIVISION <i>A.G. Golubkov, K.V. Labaznikov, V.V. Smirnov, V.V. Smirnova</i>	107
B-01-06	SOME QUESTIONS OF MACRO-, MICRO- AND THE NANO-RHEOLOGY OF THE ANISOTROPIC COMPOSITE MAGNETIC MATERIALS <i>I.A. Melnikov, A.G. Golubkov, B.V. Polegotchenkov, K.O. Soloshenko.</i>	109

В-01-07	СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ <i>Е.В. Сидоров, М. В. Пикунов</i>	110
В-01-08	БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ <i>Е.В. Сидоров, А.В. Ермилов, А.В. Костин</i>	112
В-01-09	ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ МИКРОПОРИСТОСТИ В ЛИТЫХ ЗАГОТОВКАХ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ <i>Соломеина Ю.В.</i>	114
В-01-10	УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ШЕСТНАДЦАТИПОЛЮСНОГО МАГНИТА ИЗ СПЛАВА ЮНДК <i>Соломеина Ю.В.</i>	116
В-01-11	ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ ТРАВИЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ СИНТЕЗА МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>А.А. Мухтар</i>	118
В-01-12С	СИНТЕЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ФЕРРИТОВЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ЧИП-ЭЛЕМЕНТОВ <i>В. Ломоносов, В. Паньков, М. Ивановская, Д. Котиков</i>	120
В-01-13С	ВЛИЯНИЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА УСЛОВИЙ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПОРОШКА ГЕКСАФЕРРИТА СТРОНЦИЯ <i>М. Ивановская, В. Ломоносов, Д. Котиков, В. Паньков, В. Шамбалёв</i>	122
В-01-14С	ВЛИЯНИЕ КУБИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ (100)[001] И МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Х30К15М2Т <i>Э.Х. Динисламова, А.В. Матрёнин, Р.И. Малинина, Д.Г. Жуков, О.А. Ушакова, И.М. Грачева, И.В. Чередниченко</i>	124
СЕКЦИЯ С	МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ: ФИЗИКА, ТЕХНИКА, МЕТРОЛОГИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ	
С-01-01	НАТУРНО-МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ <i>Н.И. Горбатенко, В.В. Гречихин, Н.М. Кыонг, Е. Калленбах, Й. Баумбах, А. Гадючко, В. Киреев</i>	128

B-01-07	STATE-OF-THE-ART THEORY AND PRACTICE OF SINGLE CRYSTAL PERMANENT MAGNET MANUFACTURING <i>E.V. Sidorov, M.V. Pikunov</i>	111
B-01-08	WASTELESS TECHNOLOGY OF CAST PERMANENT MAGNET MANUFACTURING <i>E.V. Sidorov, A.V. Ermilov, A.V. Kostin</i>	113
B-01-09	AFFECT OF ALLOY CRYSTALLIZATION CHARACTER ON THE MICROPOROSITY FORMATION IN CAST INGOTS OF MAGNETIC ALLOYS <i>Yu. V. Solomeina</i>	115
B-01-10	IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF A SIXTEEN-POLE MAGNET OF YuNDK TYPE ALLOY <i>Yu. V. Solomeina</i>	117
B-01-11	RECEPTION OF THE IRON OXIDE (III) FROM ALKALI DIPS FOR SYNTHESIS OF MAGNETIC MATERIALS <i>A.A. Mukhtar</i>	119
B-01-12C	SYNTHESIS OF LOW-TEMPERATURE FERRITE POWDERS FOR CHIP ELEMENTS <i>V. Lomonosov, V. Pankov, M. Ivanovska, D. Kotsikau</i>	121
B-01-13C	EFFECT OF MILLING CONDITIONS OF STRONTIUM HEXAFERRITE POWDER ON ITS MICROSTRUCTURE AND MAGNETIC FEATURES <i>M. Ivanovskaya, D. Kotsikau, V. Lomonosov, V. Pankov, V. Shambalyov</i>	123
B-01-14C	INFLUENCE OF CUBIC TEXTURE (100)[001] AND MULTISTEP THERMAL MAGNETIC TREATMENT ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF FE-30%CR-15%CO-2%MO-0.5%TI ALLOY <i>E.H. Dinislamova, A.V. Matrenin, R.I. Malinina, D.G. Zhukov, O.A. Ushakova, I.M. Gracheva, I.V. Cherednichenko</i>	125
SECTION C	MAGNETIC MEASUREMENTS: PHYSICS, ENGINEERING, METROLOGY, CERTIFICATION	
C-01-01	NATURNO-MODELING TESTS OF PERMANENT MAGNETS <i>N.I. Gorbatenko, V.V. Grechikhin, N.M. Kyong, E. Kallenbah, J. Baumbah, A. Gadjuchko, V. Kireev</i>	129

C-01-02	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ <i>А.Г. Пастушенков, П.В. Бойков</i>	130
C-01-03	КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ БЕССЕНСОРНОМ ИЗМЕРЕНИИ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>К.М. Широков, М.В. Ланкин</i>	132
C-01-04	ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И УСТРОЙСТВ ИНДУКЦИОННО-НЕПРЕРЫВНЫМ МЕТОДОМ <i>А.А.Гадючко, В.А.Киреев, J.Vaumbach, E.Kallenbach</i>	134
C-01-05	ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЖИМЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСА <i>Д.В. Шайхутдинов, Н.И. Горбатенко, М.В. Ланкин, В.В. Боровой</i>	136
C-01-06	УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛУРАЗОМКНУТОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЕ <i>Н.Д. Наракидзе, Н.И. Горбатенко</i>	138
C-01-07	БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАЗМАГНИЧИВАЮЩИМ ПОЛЕМ ПРИ ИСПЫТАНИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Н.Д. Наракидзе, Н.И. Горбатенко</i>	140
C-01-08	ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ЛИНИИ ФМР ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЖИГ <i>А. А. Фирсенков, В.А. Дубовой, А. Э. Козин, Д.А.Яськов, А.С. Смирнов, М.Ю. Гусев, Н.С. Неустроев</i>	142
C-01-09C	АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ПЛАТФОРМЕ NATIONAL INSTRUMENTS <i>Н.И. Горбатенко, В.В. Гречихин, Н.М. Кыюнг</i>	144

C-01-02	INVESTIGATION OF MAGNETIZATION AND MAGNETIC REVERSAL PROCESSES OF FERROMAGNETIC OBJECTS IN REAL CONDITIONS <i>A.G.Pastushenkov, P.V.Bojkov</i>	131
C-01-03	TEMPERATURE ERROR COMPENSATION DURING SENSORLESS MEASUREMENT OF MAGNETIC CHARACTERISTICS OF MAGNETO-SOLID MATERIALS <i>K.M. Shirokov, M.V. Lankin</i>	133
C-01-04	MEASURING OF MAGNETIC CHARACTERISTICS OF ACTUATORS AND ELECTROMAGNETIC COMPONENTS WITH A QUASISTATIC METHOD <i>A.Gadyuchko, V.Kireev, J.Baumbach, E.Kallenbach</i>	135
C-01-05	MEASUREMENT OF MAGNETIC PARAMETERS OF PRODUCTS FROM FERROMAGNETIC MATERIALS IN THE MODE OF THE CONSECUTIVE RESONANCE <i>D.V.Shaykhutdinov, N.I.Gobatenko, M.V.Lankin, V.V. Borovoy</i>	137
C-01-06	THE DEVICE FOR TEST OF PRODUCTS FROM FERROMAGNETIC MATERIALS IN SEMI DIRECT TO MAGNETIC SYSTEM <i>N.D.Narakidze, N.I.Gorbatenko</i>	139
C-01-07	BAYESIAN APPROACH FOR MANAGEMENT DEMAGNETIZE A FIELD AT TEST OF FERROMAGNETIC MATERIALS <i>N.D. Narakidze, N.I. Gorbatenko</i>	141
C-01-08	FMR LINEWIDTH MEASUREMENT TECHNIQUE IMPLEMENTATION FOR YIG EPITAXIAL STRUCTURES <i>A.A. Firsenkov, V.A. Dubovoy, A. E. Kozin, D.A.Yaskov, A.S. Smirnov, M.Yu. Gusev, N.S. Neustroev</i>	143
C-01-09C	HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR TEST OF PERMANENT MAGNETS FOR PLATFORM NATIONAL INSTRUMENTS <i>N.I.Gorbatenko, V.V.Grechikhin, N.M.Kyong</i>	145

C-01-10C	ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 80 – 1400 К <i>О.Ф.Демиденко, А.И.Галяс, Г.И.Маковецкий, К.И.Янушкевич</i>	146
C-01-11C	СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ <i>К.А. Андреев, А.С. Перминов, А.С. Старикова</i>	148
C-01-12C	ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОМАТЕРИАЛОВ <i>К.А. Андреев, А.С. Перминов, А.С. Старикова</i>	150
СЕКЦИЯ D	РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ. ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ	
D-01-01	ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ФОКУСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОЩНЫХ КЛИСТРОНОВ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ <i>А.Г. Дормидонтов, С.С. Дроздов</i>	154
D-01-02	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ <i>Е.И. Каневский</i>	156
D-01-03	ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ МАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ СТУПЕНЧАТОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ УНИПОЛЯРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ МАГНИТОВ <i>В.Н. Бекетов, В.Н. Москалёв, А.В. Огурцов, Д.В. Таранов, С.В. Таскаев, В.Д. Бучельников, И.В. Бычков, Е.И. Каневский</i>	158
D-01-04	ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАМАГНИЧЕННЫХ СТРУКТУР В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ <i>П.А. Дергачев, П.А. Курбатов</i>	160
D-01-05	МЕТОДИКА ТОЧНОГО НАМАГНИЧИВА- НИЯ ПОДСТРОЕЧНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ТОМОГРАФОВ <i>К.И. Широков, П.А. Курбатов</i>	162
D-01-06	АНАЛИЗ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫХ ТОМОГРАФОВ <i>Е.А. Кузнецова, Ю.В. Кулаев, П.А. Курбатов</i>	164

C-01-10C	MEASUREMENTS OF SPECIFIC MAGNETIZATION IN 80 - 1400 K TEMPERATURE RANGE <i>O.F. Demidenko, A.I. Galyas, G.I. Makovetskii, K.I. Yanushkevich</i>	147
C-01-11C	STAND FOR TEST PIVOTAL MAGNETIC SEPARATOR <i>K.A. Andreev, A.S. Perminov, A.S. Starikova</i>	149
C-01-12C	VISUAL CHECKING THE MAGNETIC SYSTEMS WITH USING NANOMATERIAL <i>K.A. Andreev, A.S. Perminov, A.S. Starikova</i>	151
SECTION D	CALCULATION AND SIMULATION OF MAGNETS SYSTEMS. APPLICATION OF PERMANENT MAGNETS	
D-01-01	PROJECTION OF MAGNETIC FOCALIZING SYSTEMS FOR POWERFUL KLYSTRONS AIR-COOLED <i>A.G. Dormidontov, S. S. Drozdov</i>	155
D-01-02	OPTIMUM DETERMINATION FOR MAGNET SYSTEMS DESIGNS <i>E.I. Kanevsky</i>	157
D-01-03	STEPPED TYPE AXISYMMETRICAL MAGNETIC SYSTEMS WITH THE APPLICATION OF UNIPOLAR ANNULAR MAGNETS <i>V.N. Beketov, V.N. Moskalev, A.V. Ogurtsov, D.V. Taranov S.V. Taskaev, V.D. Buchelnikov, I.V. Bychkov, E.I. Kanevsky</i>	159
D-01-04	APPLICATION OF COMPOSITE MAGNETIZED STRUCTURES IN ELECTRICAL MACHINE <i>P.A. Dergachev, P.A. Kurbatov</i>	161
D-01-05	TECHNIQUE OF EXACT MAGNETIZATION OF TUNING CONSTANT MAGNETS OF MGNETIC SYSTEMS OF TOMOGRAPHS <i>K.I. Shirokov, P.A. Kurbatov</i>	163
D-01-06	MAGNETIC RESONANCE IMAGER WITH PERMANENT MAGNETS WEIGHT AND DIMENSION FACTORS ANALISIS <i>E.A. Kuznetzova, Y.V. Kulayev, P.A. Kurbatov</i>	165

D-01-07	ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРИТОВЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ <i>С.В. Сквородников, О.Ю. Буслов, А.А. Фирсенков, Г.Д. Павлов</i>	166
D-01-08	ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ САМАРИЙ-КОБАЛЬТОВЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН <i>А.И. Власов, Е.В. Волокитина, В.В. Никитин, Ю.Г. Опалев</i>	168
D-01-09C	ОПТИМАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ОТКЛОНЯЮЩЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ <i>Я.Д. Рабинович, К.Л. Сергеев</i>	170
D-02-01	МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ <i>В.В. Даньшин</i>	172
D-02-02	МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ <i>Ю.А. Илларионов, Ю.В. Писаревский, В.А. Сергеев</i>	174
D-02-03	ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ ИНДУКТОРНЫХ СИСТЕМ СО СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ ПОЛЯ <i>В.А. Нестерин, Л.С. Яковлев, В.Н. Андреев, А.Д. Нестерина</i>	176
D-02-04	СИНТЕЗ МАГНИТНОЙ ПЛИТЫ, СОЗДАЮЩЕЙ ОДНОСТОРОННЕЕ ПОЛЕ <i>Н.И. Клевец</i>	178
D-02-05	СИНТЕЗ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА СИЛЫ <i>Н.И. Клевец</i>	180
D-02-06	МУЛЬТИПОЛИ ДЛЯ ЭЦР-ИСТОЧНИКОВ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ <i>А.А. Ефремов, Н.И. Клевец</i>	182
D-02-07	РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ МАГНИТНОЙ ОПОРЫ <i>Н.И. Клевец, И.А. Афанасьева, Л.В. Кузнецова</i>	184

D-01-07	INFLUENCE OF DISTRIBUTION OF THE MAGNETIC FIELD OF THE CONSTANT MAG- NET ON FERRITE MICROWAVE DEVICES FREQUENCY CHARACTERISTICS	167
	<i>S.V. Skovorodnikov, O.Yu. Buslov, A.A. Firsencov, G.D. Pavlov</i>	
D-01-08	MACHINING INFLUENCE OF Sm-Co PERMANENT MAGNETS ON PARAMETERS OF THE PERMANENT-MAGNET MACHINES	169
	<i>A.I. Vlasov, Ye.V. Volokitina , V.V. Nikitin, Yu.G. Opalev</i>	
D-01-09C	OPTIMUM CONSTRUCTION OF DECLINATORY MAGNETIC SYSTEM ON PERMANENT MAGNETS	171
	<i>Y.D. Rabinovich, K.L. Sergeev</i>	
D-02-01	MODELLING OF MAGNETIC DYNAMIC SYSTEMS	173
	<i>V.V. Danshin</i>	
D-02-02	MODELLING OF MAGNETIC SYSTEMS EX- ECUTIVE ELECTRIC MOTORS DIRECT CUR- RENT WITH EXCITATION FROM HIGH- COERCIVITY CONSTANTS MAGNETS	175
	<i>J.A.Illarionov, J.V.Pisarevskij, V.A.Sergeev</i>	
D-02-03	RESEARCH EXPERIENCE PULSE INDUCTOR SYSTEMS WITH COMPLEX STRUCTURE FIELD PATTERN	177
	<i>V.A. Nesterin, L.S. Yakovlev, V.A. Andreev, A.D. Nesterina</i>	
D-02-04	SYNTHESIS OF MAGNETIC PLATE CREATING ONE-SIDED FIELD	179
	<i>N.I. Klevets</i>	
D-02-05	SYNTHESIS OF MAGNETIC SYSTEMS BY THE CRITERION OF MAXIMUM FORCE	181
	<i>N.I. Klevets</i>	
D-02-06	MULTIPOLES FOR ECR-SOURCES OF MULTICHARGE IONS	183
	<i>A.A. Efremov, N.I. Klevets</i>	
D-02-07	CALCULATION OF LINEAR MAGNETIC SUPPORT	185
	<i>N.I.Klevets, I.A.Afanasieva, L.V.Kuznetsova</i>	

D-02-08	СИНТЕЗ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯ ФАРАДЕЯ <i>Н.И. Клевей, Афанасьева И.А.</i>	186
D-02-09C	МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ В НАТУРНО-МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ <i>Ю.А. Бахвалов, Н.И. Горбатенко, В.В. Гречихин, Н.М. Кьонг</i>	188
D-03-01	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДЕМПФЕР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ <i>Е.В. Сидоров, Р.И. Тюкавин</i>	190
D-03-02	НОВЫЕ УНИПОЛЯРНЫЕ И МНОГОПОЛЮСНЫЕ КОЛЬЦЕВЫЕ МАГНИТЫ <i>В.Н. Бекетов, В.Н. Москалёв, А.В. Огурцов</i>	192
D-03-03	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ <i>С.В. Грибанов, Ю.В. Кулаев, П.А. Курбатов, О.Л. Полущенко</i>	194
D-03-04	ГИБРИДНЫЙ КРИОГЕННЫЙ МАГНИТ <i>Е.П. Красноперов, А.А. Картамышев, Д.И. Пузанов, О.Л. Полущенко, Н.А. Нижельский</i>	196
D-03-05	НИЗКОБОРОТНЫЕ И БЫСТРОХОДНЫЕ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ МАГНИТОВ Nd-Fe-B <i>В.В. Котунов</i>	198
D-03-06	ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ СЕПАРАТОРОВ <i>Тагунов П.Е., Тагунов Е.Я., Пучков В.А.</i>	200
D-03-07C	НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ <i>К.А. Андреев, А.С. Перминов, А.С. Стариков</i>	202
	ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	
	ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ ИЗ ПЛАСТИНЧАТЫХ СПЛАВОВ Nd-Fe-B С $(BH)_{max}$ ДО 50 МГСЭ	206

D-02-08	SYNTHESIS OF THE MAGNETIC SYSTEM OF FARADAY'S ISOLATOR	187
	<i>N.I. Klevets, I.A. Afans'eva</i>	
D-02-09C	MODELING OF MAGNETIC SYSTEMS IN NATURNO-MODELING EXPERIMENT	189
	<i>J.A.Bahvalov, N.I.Gorbatenko, V.V.Grechikhin, N.M.Kyong</i>	
D-03-01	ELECTROMAGNETIC DAMPER OF A NEW GENERATION FOR SPACE TECHNIQUE	191
	<i>E.V. Sidorov, R.I. Tyukavin</i>	
D-03-02	NEW UNIPOLAR AND MULTIPOLAR ANNULAR MAGNETS	193
	<i>V.N. Beketov, V.N. Moskalev, A.V. Ogurtsov</i>	
D-03-03	THE COMPARATIVE ANALYSIS OF MAGNETIC FIELDS OF PERMANENT MAGNETS AND PRODUCTS FROM HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS	195
	<i>S.V.Gribanov, J.V.Kulaev, P.A.Kurbarov, O.L.Polushchenko</i>	
D-03-04	HYBRID CRYOGENIC MAGNET	197
	<i>E.P.Krasnoperov, A.A.Kartamyshev, D.I. Puzanov, O.L.Polushchenko, N.A.Nizelskij</i>	
D-03-05	НИЗКОБОРОТНЫЕ И БЫСТРОХОДНЫЕ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ МАГНИТОВ ND-FE-B	199
	<i>B.B. Котунюв</i>	
D-03-06	EVALUATION OF EFFICIENCY FOR MAGNETIC SYSTEMS OF SEPARATORS	201
	<i>P.E.Tagunov, E.Ya.Tagunov, V.A.Puchkov</i>	
D-03-07C	SOME PARTICULARITIES TO USAGES AND OPTIMIZATION TO DESIGNS PIVOTAL MAGNETIC SEPARATOR	203
	<i>K.A. Andreev, A.S. Perminov, A.S. Starikova</i>	
	PLENARY SESSION	
	PERMANENT MAGNETS MADE FROM STRIP-CAST Nd-Fe-B ALLOYS WITH $(BH)_{\max}$ UP TO 50 MGOe	207

Секция А
**ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ,
ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ И СТРУКТУРА СПЛАВОВ
ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Section A

**MAGNETISM, REMAGNETIZATION PROCESSES
AND STRUCTURE OF PERMANENT MAGNET ALLOYS**

**А-01-01 МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗЕРЕН
И ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В Nd-Fe-B ПО-
СТОЯННЫХ МАГНИТАХ**

Ю.Г.Пастушенков, К.П.Скоков, В.В.Симонов, Р.Ф.Смирнов
**Тверской государственный университет, Россия,
170100, Тверь, ул. Желябова, 33, rector@tversu.ru**

Методом магнитооптического эффекта Керра исследована перестройка магнитной доменной структуры в процессе перемагничивания порошковых постоянных магнитов типа Nd-Fe-B в магнитном поле, приложенном под различными углами к оси текстуры [1-4]. Выявлено изменение характера процессов перемагничивания и угловых зависимостей коэрцитивной силы при изменении уровня коэрцитивности и степени магнитоэстатического взаимодействия зерен [2,4]. Показаны возможные схемы количественного анализа магнитной доменной структуры в порошковых постоянных магнитах [3,5]. На основании исследований ДС в магнитном поле построены реалистичные кривые намагничивания и петли магнитного гистерезиса.

Работа поддержана грантами РФФИ № 09-02-01274 и ДААД.

- [1] Yu.Pastushenkov, K-D.Durst, H.Kronmüller. Phys.Stat.Sol (a) 104 (1987) 487
- [2] Yu.Pastushenkov, A.Forkl, H.Kronmüller. JMMM 101 (1991) 363
- [3] Yu.Pastushenkov, L.E.Afanasieva, R.M.Grechishkin. Phys.Stat.Sol (a) 142 (1994) K47
- [4] Yu.Pastushenkov. JMMM 140-141 (1995) 1063
- [5] Yu.Pastushenkov, K.Skokov. Journ. of iron and steel research. 13 (2006) 79

**A-01-01 MAGNETOSTATIC GRAIN INTERACTION IN Nd-Fe-B
PERMANENT MAGNETS AND MAGNETISATION RE-
VERSAL PROCESSES**

Yu.G.Pastushenkov, K.P.Skokov, V.V.Simonov, R.F.Smirnov
**Tver State University, Russia, 170100, Tver, Zheliabova Str., 33, yu-
past@tversu.ru**

The magnetic domain structure transformation of Nd-Fe-B permanent magnets was investigated under the fields applied at different angles to the texture axis by means of magnetooptik Kerr effect [1-4]. The change of character of magnetisation reversal processes and angular dependences of coercivity force were revealed at the change of the level of coercivity and the degrees of magnetostatic grain interaction [2,4]. Possible schemes of the quantitative analysis of magnetic domain structure in the sintered permanent magnets [3,5] were found out. Realistic magnetization curves and hysteresis loops were constructed on the basis of DS investigations .

The work is supported by grants of RFBR 09-02-01274 and DAAD.

- [1] Yu.Pastushenkov, K-D.Durst, H.Kronmüller. Phys.Stat.Sol (a) 104 (1987) 487
- [2] Yu.Pastushenkov, A.Forkl, H.Kronmüller. JMMM 101 (1991) 363
- [3] Yu.Pastushenkov, L.E.Afanasieva, R.M.Grechishkin. Phys.Stat.Sol (a) 142 (1994) K47
- [4] Yu.Pastushenkov. JMMM 140-141 (1995) 1063
- [5] Yu.Pastushenkov, K.Skokov. Journ. of iron and steel research. 13 (2006) 79

А-01-02 ДОМЕНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ Sm-Zr-Co-Cu-Fe

Ю.Г.Пастушков, П.А.Зезюлина, М.Б.Ляхова, Е.М.Семенова
Тверской государственный университет, Россия, 170100, Тверь,
ул. Желябова, 33, rector@tversu.ru

Методами оптической и сканирующей зондовой микроскопии исследован процесс изменения микроструктуры псевдомонокристаллических образцов сплавов $\text{Sm}_{0,85}\text{Zr}_{0,15}(\text{Co}_{0,70}\text{Cu}_{0,09}\text{Fe}_{0,21})_z$, где $z = 6, 1; 6, 4; 6, 7$, в процессе различных термических обработок. Образцы гомогенизировались при температуре 1170°C и подвергались изотермическому старению при 800°C в течение 2, 5, 10 и 20 часов с последующими закалкой до 20°C или охлаждением до 400°C со средней скоростью $2^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Сплавы рассматриваемого типа имеют сложную микроструктуру, состоящую из двух основных структурных составляющих, имеющих состав, близкий к $\text{R}(\text{Co},\text{M})_5$ (составляющая А) и $\text{R}_2(\text{Co},\text{M})_{17}$ (составляющая В) [1]. Каждая из составляющих характеризуется наноразмерной «ячеистой» структурой, подробные исследования которой представлены в работах [2-3]. Размеры «ячеек» варьируются в интервале 50...100 нм [2].

Оценка параметров ячеистой структуры и магнитной доменной структуры проведена при различных режимах старения при 800°C и способов охлаждения. Для всех случаев выполнено сопоставление параметров ДС и наноструктуры фазовых составляющих исследуемых материалов. Анализ полученных изображений позволяет сделать вывод о том, что средняя ширина домена в фазе А соответствует 15 ячейкам. Средняя ширина доменов в фазе В составляет $\approx 0,6$ мкм, что соответствует приблизительно 6 ячейкам структуры.

Таким образом, размер доменов структурных составляющих сплава $(\text{Sm}_{0,85}\text{Zr}_{0,15})(\text{Co}_{0,70}\text{Cu}_{0,09}\text{Fe}_{0,21})_z$ в несколько раз превышает размеры «ячеек», при этом доменные стенки многократно пересекают границы фаз. Можно предположить, что формирование подобной ДС связано с наличием не только магнитостатического и обменного взаимодействий между когерентно связанными наноячейками, но и специфическим характером распределения коэрцитивности внутри структурных составляющих.

Работа поддержана грантом РФФИ № 09-02-01274.

[1] Н.П. Супонев, А.Г. Дормидонтов, В.В. Левандовский, Е.Б. Шаморикова, Е.М. Некрасова, ФММ. Тверь, (1992) 78.

[2] М.Б.Ляхова, Е.М.Семенова, И.В.Андреев, И.А.Каплунов. Вестник ТвГУ. Серия: Физика. 6 (2007) 22

[3] Yu.G.Pastushenkov, K.P.Skokov, N.P.Suponev, M.B.Lyakhova, E.M.Semenova, Abstr. 13th Int. Conf. on Rapidly Quenched and Metastable Mat. (2008) 148

A-01-02 INTERACTION DOMAINS IN Sm-Zr-Co-Cu-Fe PERMANENT MAGNETS

Yu.G.Pastushenkov, P.A.Zeziulina, M.B.Lyakhova, E.M.Semenova
Tver State University, Russia, 170100, Tver, Zheliabova Str., 33, yu-past@tversu.ru

The microstructure of as cast $\text{Sm}_{0,85}\text{Zr}_{0,15}(\text{Co}_{0,70}\text{Cu}_{0,09}\text{Fe}_{0,21})_z$ samples with $z=6,1; 6,4; 6,7$ in the process of various kinds of thermal treatment was investigated by optical and scanning probe microscopy methods.

The alloys were homogenized at 1170°C and underwent isothermal ageing at 800°C during 2, 5, 10 and 20 hours with the following quenching up to 20°C or cooling up to 400°C with the average velocity about 2°C·min⁻¹. The optical microscopy method shows two structural components in the as cast samples of the investigated type: *A* with the composition close to $\text{R}(\text{Co},\text{M})_5$ and *B* with the composition close to $\text{R}_2(\text{Co},\text{M})_{17}$ [1]. It was found out, that the fine cellular nano-structure is formed in both *A* and *B* sample components during thermal treatment [2-3]. The average sizes of the fine structure details are 50-100 nm [2]. The estimations of the average sizes of "cells" were carried out at various duration ageing at 800°C and cooling modes. The sizes of "cells" in the phase *B* are 5-10 nm larger, than in the phase *A*.

The DS parameters and the parameters of nano-structure of the investigated materials were compared for all cases. The analysis of the received DS- and microstructure images helps to make a conclusion that the average width of the domains in the phase *A* corresponds to 15 cells. The average width of the domains in the phase *B* is about 0,6 microns that corresponds approximately to 6 cells of the structure.

Thus, the size of the domains of the structural components of $(\text{Sm}_{0,85}\text{Zr}_{0,15})(\text{Co}_{0,70}\text{Cu}_{0,09}\text{Fe}_{0,21})_z$ in some cases exceeds the sizes of cells and the domain walls repeatedly cross borders of phases. It is possible say, that the formation of similar DS is connected with the presence of not only magnetostatic and exchange interactions between coherently connected nano-cells, but also with specific character of coercivity distribution inside the structural components.

The work is supported by RFBR grant № 09-02-01274.

- [1] N.P.Suponev, A.G.Dormidontov, V.V.Levandovsky, etc. Physics of magnetic materials. Tver (1992) 78
[2] M.B.Lyakhova, E.M.Semenova, I.V.Andreev, I.A.Kaplunov. Vestnik TSU. Ser. Physics. 6 (2007) 22
[3] Yu.G.Pastushenkov, K.P.Skokov, N.P.Suponev, M.B.Lyakhova, E.M.Semenova, Abstr. 13th Int. Conf. on Rapidly Quenched and Metastable Mat. (2008) 148

A-01-03

ВЛИЯНИЕ СЛАБОМАГНИТНЫХ, НЕМАГНИТНЫХ И НЕВЕРНООРИЕНТИРОВАННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Nd-Fe-B

О.А. Ариничева, А.С. Старикова, А.С. Лилеев

Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4, Olga_Arinicheva@list.ru

В рамках феноменологической модели проведен анализ формирования доменной структуры при перемагничивании одноосных высокоанизотропных материалов, в которых существенное влияние оказывает магнитостатическое взаимодействие между объемами, при наличии различных включений.

Физической основой для моделирования были экспериментальные кривые, измеренные на спеченном сплаве Nd₁₅Fe₇₇B₈. Для этого материала подбирали модельный ансамбль, имитирующий магнитные свойства сплава. Исследование влияния включений проводили на основе модельных экспериментов с полученным ансамблем.

Использовали программу, разработанную для одноосных высокоанизотропных ферромагнетиков, в которой образец представлен ансамблем из 1000 частиц, имеющих переходную доменную структуру и следующие индивидуальные характеристики: максимальное поле скачка возникновения доменной структуры H_0^{\max} , зависимость поля скачка от величины намагничивающего поля $H_0(H_m)$, поле насыщения конкретной частицы H_s , поле анизотропии материала H_a , намагниченность насыщения M_s , восприимчивость H_0 к величине намагничивающего поля $A=dH_0/dH_m$, угол между легкой осью и направлением приложенного поля Angle.

После подбора всех параметров ансамбля, имитирующего этот материал, для исследования влияния включений на процессы перемагничивания, изменяли основные параметры некоторых микрообъемов. Далее проводили модельный эксперимент: ансамбль термически размагничивали, затем намагничивали в магнитных полях, соответствующих экспериментальным данным. Снимали поле и затем размагничивали отрицательным полем.

Сделан вывод о том, что перемагничивание осуществляется по каналам, образующимся за счет направленного магнитостатического взаимодействия. Слабомагнитные, немагнитные и неверноориентированные включения являются центрами перемагничивания, однако перераспределение полей магнитостатического взаимодействия может привести даже к торможению перемагничивания некоторых областей.

Работа выполнена при поддержке ФАНИ РФ ГК № 02.513.11.3397.

A-01-03 **INFLUENCE OF WEAK-MAGNETIC, NON-MAGNETIC
AND INCORRECTLY-ORIENTED GRAINS ON
REMAGNETIZATION PROCESSES OF Nd-Fe-B ALLOYS**

O.A. Arinicheva, A.S. Starikova, A.S. Lileev
**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, Olga_Arinicheva@list.ru**

In the framework of a phenomenological model the analyze of domain structure formation during magnetization reversal of the uniaxial highanisotropic materials, in which a significant influence exercises magnetostatic interaction between volumes, in the presence of weak-magnetic, non-magnetic and incorrectly-oriented grains is carried out.

The experimental curves measured on sintered alloy neodymium- iron - boron ($\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$) were a physical basis for modeling. The modeling ensemble simulating magnetic properties of this alloy was selected For this material. Research of influence of inclusions was conducted on the basis of model experiments with the received ensemble.

It was used the program, devised for uniaxial highanisotropic ferromagnets, in which the sample is presented by ensemble from 1000 particles having transitive domain structure and following individual characteristics: maximum field of jump of occurrence of domain structure Ho^{max} , dependence of a field of jump on size of magnetizing field $\text{Ho}(\text{Hm})$, a saturation field of a particular particle Hs , anisotropy field of a material Ha , saturation magnetization Ms , susceptibility Ho to value of a magnetizing field $A=d\text{Ho}/d\text{Hm}$, corner between an easy axis of a particle and a direction of the applied field Angle.

After selection of all parameters of the ensemble simulating this material, for researching the influence of inclusions on magnetic reversal processes, key parameters of some microvolumes (Ms , Ho^{max} , Hs , Angle) were changed. Model experiment was conducted further: ensemble was thermally demagnetized, then was magnetised in the magnetic fields, corresponding to experimental data. Field was removed and then a sample was demagnetized in negative field.

It was concluded that magnetic reversal is carried out on the channels formed at the expense of directed magnetostatic interaction. Weak-magnetic, non-magnetic and incorrectly-oriented grains are the magnetic reversal centers, i.e. they are the beginning of formation of the channel of magnetic reversal. However the redistribution of magnetostatic interaction fields can even lead to braking of magnetic reversal of some areas.

This work was supported by the Federal Agency for and Innovation RF Government Contract № 02.513.11.3397

А-01-04 ГРАФИКИ ХЕНКЕЛЯ ДЛЯ МАГНИТОТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБЛАДАЮЩИХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ

А.С.Лилеев, А.Е.Степанов, И.В.Паничкина

Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4

В ряде работ, опубликованных в последние годы [1,2], для анализа наличия и интенсивности межфазного взаимодействия в сплавах типа $\text{Sm}(\text{Co},\text{Fe},\text{Cu},\text{Zr})_z$ использовались графики Келли. Графики Келли являются производными от графиков Хенкеля и показывают отклонения зависимости $I_d(I_c)$ от теоретической зависимости Вольфарта-Стонера. Отклонения от данной зависимости тракуются в литературе как следствие обменного или магнитостатического взаимодействия. Однако, рассуждения, на которых эта зависимость построена, справедливы только для материалов, гистерезис которых определяется анизотропией формы однодоменных частиц, и размагниченных термически или знакопеременным полем.

Задача данной работы показать, что вид графиков Хенкеля сильно зависит от способа получения размагниченного состояния и лимитирующего звена механизма перемагничивания материала. Для этого были построены графики Хенкеля для материалов типа $\text{Sm}(\text{Co},\text{Fe},\text{Cu},\text{Zr})_z$, SmCo_5 , Nd-Fe-B и Fe-Co-Cr . В качестве исходных данных использовали частные петли гистерезиса, построенные из размагниченных состояний, полученных разными способами, и кривые возврата. Кроме того, для выяснения влияния магнитостатического взаимодействия в материале на ход графиков Хенкеля, последние были рассчитаны с использованием модельного ансамбля частиц, имитирующего поведение материала, перемагничивание которого лимитируется зародышеобразованием.

Сравнение полученных результатов подтвердило, что вид графиков Хенкеля зависит от способа получения размагниченного состояния и лимитирующего звена процесса перемагничивания. Все графики показали отклонения от теоретической зависимости. Учёт взаимодействия принципиально не изменяет вид графиков Хенкеля. Кроме того, для материалов, перемагничивание которых лимитируется зародышеобразованием, знак отклонения от теоретической прямой зависит от величины намагничивающего поля.

При использовании графиков Хенкеля в качестве инструмента для анализа взаимодействия в материале необходимо учитывать и разделять вклад всех факторов, влияющих на их вид. В противном случае из графиков невозможно выделить информацию о собственно взаимодействии в материалах.

Работа выполнена при поддержке ФЦНТП ФАНИ ГК №02.513.3397

[1] R-J Chen et al. J. Phys. D: Appl. Phys. **40** (2007) 4391–4395

[2] C-b Rong et al. Appl. Phys. Lett. **88**, 042504 (2006)

A-01-04 HENKEL PLOTS FOR HARD-MAGNETIC MATERIALS WITH DIFFERENT MAGNETIZATION MECHANISM**A.S.Lileev, A.E.Stepanov, I.V.Panichkina****State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, Lileev@misis.ru**

In the recent years a number of works [1,2] has been published, where Kelly plots were used for the intergrain exchange coupling (IGEC) analysis in $\text{Sm}(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_z$. Kelly plots are the derived concept from Henkel plots and demonstrate deviations of relation $I_d(I_r)$ from theoretical Stoner-Wohlfarth relation. These deviations are treated as the result of magnetostatic or exchange interaction. However, Stoner-Wohlfarth relation is based on the speculations, which is true for the materials with coercivity determined by the shape anisotropy single-domain particles and for the demagnetized state, produced by thermal or alternating field demagnetization.

This work was aimed to prove, that Henkel plots shape depends on way of producing the demagnetized state and limiting factor of coercivity mechanism in the material. For this purpose Henkel pots were made for the following materials: $\text{Sm}(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_z$, SmCo_5 , Nd-Fe-B and Fe-Co-Cr. Hysteresis loops plotted from demagnetized state, produced by various demagnetization methods (thermal demagnetization, demagnetization by constant and alternating field), and recoil loops were used as a raw data. Furthermore, calculations using a model assembly of particles imitating material which coercivity is determined by the nucleation of domain with reversed magnetization were made in order to investigate how magnetostatic interaction in the material affects Henkel plots shape.

Comparison of the results showed that Henkel plots shape depends on the way of producing of the demagnetized state and the limiting factor of coercivity in the material. All of the curves exhibited deviations from Stoner-Wohlfarth relation. Calculations considering interaction didn't lead to appreciable difference in Henkel plots shape. Furthermore, in case of the materials with the coercivity determined by the nucleation even the sign of deviation depends on the magnetizing field value.

Therefore, in order to use Henkel plots as the analysis tool for existence and intensity of the interaction in the materials one should consider and divide contribution of all the factors affecting Henkel plots shape. Otherwise, it is impossible to extract from Henkel plots information about the interaction itself.

This work was supported by FRTTP FASI №02.513.3397

[1] R-J Chen et al. J. Phys. D: Appl. Phys. **40** (2007) 4391–4395

[2] C-b Rong et al. Appl. Phys. Lett. **88**, 042504 (2006)

A-01-05 КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ SmCo_5 В.П. Менушенков¹, Т.А. Свиридова¹, Е.В. Шелехов¹, Л.М. Белова²¹ Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4, menushenkov@gmail.com² Королевский технологический институт, 10044, Стокгольм, Швеция, belova@mse.kth.se

Методами рентгеноструктурного и металлографического анализов изучена микроструктура и кристаллическая структура литых сплавов на основе соединения SmCo_5 после различных термических обработок. Сплавы $\text{Sm}_y\text{Co}_{100-y}$ ($y=13.2-21.1$) были приготовлены индукционной плавкой в аргоне. Слитки отжигали в вакууме при температурах: 1220°C 3 ч + 1000°C 5 ч + 900°C 10 ч + 700°C 10 ч. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3 в CuK_α -излучении. Для количественного фазового анализа использовали упрощенный метод Ритвельда. Отжиги застехиометрических сплавов ($y=17.2-21.1$) при $1220 - 900^\circ\text{C}$ приводят к снижению величины c/a фазы SmCo_5 до $0.7932-0.7934$, что заметно ниже величины c/a для достехиометрических сплавов ($13.2 < y < 16.8$) после заключительного отжига при 900°C . Наблюдаемые изменения параметров фазы SmCo_5 в застехиометрических сплавах свидетельствуют об обогащении этой фазы самарием, что может быть связано с превращением структуры SmCo_5 в SmCo_{5-x} . С уменьшением y в достехиометрических сплавах, отожженных при 1220°C , величина c/a фазы SmCo_{5+x} увеличивается до значения 0.809 для сплава $\text{Sm}_{13.2}\text{Co}_{86.8}$, чему соответствует содержание Co в фазе $\text{SmCo}_{5+x} \approx 85.5 \text{ at.}\%$. Отжиги при 1000 и 900°C приводят к распаду твердого раствора SmCo_{5+x} путем выделения фазы $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ниже границы области гомогенности. При этом величина c/a снижается до значения 0.795 , как и в сплаве стехиометрического состава ($\text{Sm}_{16.8}\text{Co}_{83.2}$). Только после отжига при 700°C отношение периодов решетки c/a становится одинаковым для до- и застехиометрических сплавов ($c/a \approx 0.7933$). Было показано, что сложная микроструктура литых застехиометрических сплавов ($y \geq 17.2$) формируется в неравновесных условиях при кристаллизации и последующем охлаждении слитков до комнатной температуры.

A-01-05 CRYSTALLINE STRUCTURE OF SmCo_5 BASED ALLOYSV.P. Menushenkov¹, T.A. Sviridova¹, E.V. Shelekhov¹, L.M. Belova²¹ State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, menushenkov@gmail.com²Royal Institute of Technology, Stockholm, 10044 Sweden,
belova@mse.kth.se

Microstructure and crystalline structure of as cast SmCo_5 based alloys after various heat treatments were studied using X-ray diffraction and metallographic methods. The ingots of $\text{Sm}_y\text{Co}_{100-y}$ alloys ($y=13.2-21.1$) were prepared by induction melting in Ar. The ingots were aged in a vacuum furnace in series at 1220°C for 3 h + 1000°C for 5 h + 900°C for 10 h + 700°C for 10 h. The phase identification was carried out by X-ray diffraction (XRD) using Cu-K α radiation. Rietveld refinement was used for quantitative phase analysis. Aging of hyperstoichiometric alloys ($y=17.2-21.1$) at 1220 - 900°C decreases c/a value up to 0.7932–0.7934, which is notably lower to those for hypostoichiometric alloys ($13.2 < y < 16.8$) after final aging at 900°C. XRD study of the lattice parameters of SmCo_5 phase in hyperstoichiometric alloys shows evidence of the Sm enrichment of the SmCo_5 phase, which can be related to the phase transformation of SmCo_5 into SmCo_{5-x} phases. In hypostoichiometric alloys aged at 1220°C with decreasing y the c/a value of SmCo_{5+x} phase increases up to 0.809 for $\text{Sm}_{13.2}\text{Co}_{86.8}$, which correspond to ≈ 85.5 at.% Co in SmCo_{5+x} phase. Aging at 1000 and 900°C results in the decomposition of SmCo_{5+x} solid solution by precipitation of $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ phase below the homogeneity limit. At that the c/a value decrease up to 0.795, which is similar to those of stoichiometric alloy ($\text{Sm}_{16.8}\text{Co}_{83.2}$). Only after aging at 700°C c/a ratio is equal in both hyper- and hypostoichiometric alloys ($c/a \approx 0.7933$). It was established that complicated microstructure of as-cast hyperstoichiometric alloys ($y \geq 17.2$) forms in nonequilibrium conditions during crystallization of the ingots and the subsequent cooling to room temperature.

СТРУКТУРА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ НАМАГНИЧИВАНИЯ В СВЕРХВЫСОКИХ ПОЛЯХ
А-01-06Любина Ю.В.¹, Столяров В.Л.², Щетинин И.В.², Ягодкин Ю.Д.²¹ IFW Dresden, Institute for Metallic Materials, Helmholtzstr. 20, 01069, Dresden, Germany² Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4

Методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии проведена структурная аттестация порошков нанокристаллических сплавов Nd-Fe-Co-B, Sr-Fe-O и Fe-O, полученных методами закалки из расплава и высокоэнергетического измельчения с последующими кристаллизационным отжигом. Магнитные свойства порошков измеряли на вибромагнетометре “LDJ – 9600” при комнатной температуре в полях до 20 кЭ. Кроме того, измеряли кривые намагничивания и размагничивания в сверхвысоких полях на импульсной установке IFW Dresden (в полях до 480 кЭ) и SQUID-магнетометре (в полях до 67 кЭ) при температурах 10-300 К.

Порошок сплава Nd-Fe-Co-B содержал фазы Nd₂Fe₁₄B и α-Fe с размером кристаллитов около 30 и 15 нм, соответственно, а также некоторое количество оксидов Nd (около 10 об. %). Кобальт был растворен в обеих фазах. При комнатной температуре порошок имел следующие свойства: $\mu_0 H_{ci} \approx 0,81$ Тл, $B_r = 0,85$ Тл, $(BH)_{max} \approx 90$ МДж/м³. Показано, что магнитное насыщение сплавов при комнатной температуре не наступало даже в поле 480 кЭ, превышающем поле анизотропии (H_A) Nd₂Fe₁₄B в 7 раз. Причем, при 10 К данный эффект был выражен в большей степени, что, вероятно, связано со спин-ориентационным переходом фазы Nd₂Fe₁₄B.

Порошок Sr-Fe-O был практически однофазным и содержал фазу SrFe₁₂O₁₉ со средним размером кристаллитов $\langle D \rangle = 150-200$ нм. Данный порошок имел высокую коэрцитивную силу ($\mu_0 H_{ci} \approx 0,42$ Тл) и хорошую остаточную намагниченность ($\mu_0 I_r \approx 0,24$ Тл). Для сравнения исследовался крупнокристаллический образец с размерами зерен порядка 1 – 10 мкм. Детальные измерения кривых намагничивания порошков Sr-Fe-O на SQUID-магнетометре показали, что насыщение в полях до 67 кЭ ($H \approx 3,5 H_A$) не достигается в обоих случаях, причем данный эффект зависел от температуры и был различен для нанокристаллического и крупнокристаллического состояния.

В работе обсуждаются возможные причины отсутствия магнитного насыщения сплавов в сверхвысоких полях.

A-01-06 THE STRUCTURE OF NANOCRYSTALLINE MATERIALS AND PECULIARITIES OF THEIR MAGNETISATION BEHAVIOUR IN HIGH MAGNETIC FIELDS**J. Lyubina¹, V.L. Stolyarov², I.V. Shetinin², Yu.D. Yagodkin²****¹ IFW Dresden, Institute for Metallic Materials, Helmholtzstr. 20, 01069, Dresden, Germany****² State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4**

The structure of nanocrystalline Nd-Fe-Co-B, Sr-Fe-O and Fe-O alloys was studied by x-ray diffraction and electron microscopy. The Nd-Fe-Co-B alloys have been obtained by rapid quenching and subsequent annealing, while high energy ball milling followed by heat treatment was used for the preparation of Sr-Fe-O and Fe-O. The magnetic properties were measured using a vibrating sample magnetometer "LDJ - 9600" at room temperature in fields up to 20 kOe. Moreover, magnetisation and demagnetisation curves were measured using a SQUID magnetometer in the temperature range of 10-300 K and fields up to 67 kOe and in ultra-high magnetic fields using the pulsed field device of the IFW Dresden (up to 480 kOe).

Nd-Fe-Co-B powder contained the Nd₂(Fe,Co)₁₄B and α -Fe(Co) phases with crystallite size of about 30 and 15 nm, respectively, as well as about 10 vol. % of Nd oxides. At room temperature, the Nd-Fe-Co-B powder had the following magnetic properties: $\mu_0 H_c \approx 0.81$ T, $B_r = 0.85$ T and $(BH)_{max} \approx 90$ MJ/m³. At 300 K, the magnetic saturation was not reached even in a field of 480 kOe, which exceeds the anisotropy field (H_A) of Nd₂Fe₁₄B in 7 times. At 10 K, the non-saturation behaviour was more pronounced, apparently due to the spin-reorientation transition in Nd₂Fe₁₄B.

Sr-Fe-O powder was almost single-phase and contained the SrFe₁₂O₁₉ phase with the average crystallite size $\langle D \rangle = 150$ -200 nm. The SrFe₁₂O₁₉ powder had a high coercivity $\mu_0 H_c$ of 0.42 T. For comparison, a coarse-grained SrFe₁₂O₁₉ alloy with the grain size of ~ 1 -10 μ m was studied. In both nanocrystalline and coarse-grained powders, no saturation can be achieved in fields up to 67 kOe ($H \approx 3.5 H_A$). However, this effect varied in dependence on temperature and the crystallite size.

The possible reasons for the absence of the magnetic saturation in high magnetic fields are discussed.

A-01-07

ДОМЕННЫЕ ГРАНИЦЫ В ПОЛЯХ ИЗОТРОПНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В.Г. Мельников, Н.М. Игнатенко, А.А. Родионов

**Курский государственный технический университет, Россия, 305040,
Курск, ул. 50 лет Октября, 94, inmkstu@bk.ru; raa41@inbox.ru**

Ранее нами было показано, что при помещении полидоменной системы (ферромагнетик, сегнетоэлектрик, сегнетомагнетик и пр.) в поле изотропных внешних воздействий (описываемых тензором напряжений у которого отсутствуют сдвиговые компоненты), ферромагнетики и сегнетоэлектрики изменяют свои параметры, характеризующие процесс диссипации энергии. Такие воздействия изменяют и магнитную восприимчивость в одноосных магнетиках, связанную как с процессами смещений доменных границ (ДГ), так и вращений векторов спонтанной намагниченности. Из ранее проведенных исследований следует: в полях всесторонних переменных внешних воздействий и смещения и процессы вращения развиваются менее интенсивно.

В настоящем докладе рассмотрены особенности протекания этих процессов в постоянных гидростатических полях, приводящих к возникновению в рассматриваемых средах магнитоупругих и упругоэлектрических волн, распространяющихся в них и прекращающих свое существование, когда вся подводимая к системе энергия переходит в тепло. Количественное описание этого процесса проводится на примере трехосных ферромагнетиков, содержащих три магнитные фазы. На основе составления и решения уравнений движения ДГ и уравнений вращательных моментов с использованием волнового уравнения получены соотношения, описывающие процесс распространения магнитоупругого постоянного во времени возбуждения, приложенного в начальный момент времени (процесс приложения такого поля пусть происходит за время $\Delta t \rightarrow 0$). Решение волнового уравнения проводилось методом Фурье. Показано, что в отличие от направленных внешних воздействий в гидростатических полях диссипативные процессы развиваются значительно менее интенсивно, что обусловлено, тем, что при этом отсутствуют сдвиговые воздействия, весьма активирующие диссипативный процесс из-за того, что они кардинально нарушают симметрию кристаллов.

Подобная задача рассматривалась и для перовскитовых сегнетокристаллов со слабой степенью тетрагональности кубической решетки. При этом общая схема решения данной задачи по описанию упругоэлектрического возбуждения остается прежней: все исходные уравнения для сегнетоэлектриков составляются с использованием их термодинамического потенциала. Некоторые усложнения при этом возникают для сегнетомагнетиков, в которых имеет место взаимодействие, в частности, между магнитной и электрической подсистемами, приводящее к некоторым особенностям протекания в них рассматриваемых процессов.

A-01-07 **DOMAIN BOUNDARIES IN FIELDS OF THE ISOTROPIC
EXTERIOR ACTIONS**

V.G. Melnikoy, N.M. Ignatenko, A.A. Rodionov
Kursk state technical university, Russia, 305040, Kursk,
street of 50 years of October, 94, inmkstu@bk.ru; raa41@inbox.ru

Earlier by us it has been shown, that at a premise of polydomain system (a ferromagnetic, a ferroelectric, a ferromagnetic and so forth) in a field of the isotropic exterior actions (featured by a stress tensor which has shift builders), ferromagnetics and ferroelectrics change the parameters describing process of a dissipation of energy. Such actions change also a magnetizability in the uniaxial magnetics, related as with processes of biases of domain borders, and gyrations of vectors of spontaneous magnetization. From earlier lead examinations follows: in fields of all-round variable exterior actions and biases and processes of gyration develop less intensively.

In the present report features of course of these processes in the constant hydropermanent fields leading occurrence in viewed mediums magnetoelastic and Elasticelectrical of waves, spread in them and stopping the existence, when all energy brought to system will transfer in heat.

The quantitative description of this process is spent on an example Triaxial the ferromagnetics containing three magnetic phases. On the basis of drawing up and solutions of equations of motion $\Delta\Gamma$ and the equations of the circumrotatory moments with use of a wave equation are gained the relations featuring process of distribution of magnetoelastic constant excitation in time, time enclosed at the initial moment (Process of the appendix of such field let occurs in time $\Delta t \rightarrow 0$). The solution of a wave equation was spent by method Fourier. It is shown, that unlike the directional exterior actions in hydropermanent fields the dissipative processes develop much less intensively, that is caused, that thus there are the shift actions rather labilizing the dissipative process of that they cardinaly break symmetry of crystals.

The similar problem was considered and for Perovscite ferroelectric Crystal with a feeble degree Tetragonal a cubic lattice. Thus the blanket plan of the solution of the given problem under the description Elasticelectrical excitation remains former: all input equations for ferroelectrics are made with use of their thermodynamic potential. Some complications thus arise for ferromagnetics in which interaction takes place, in particular, between the magnetic and electrical subsystems, leading some features of course in them of viewed processes.

A-01-08

ВЛИЯНИЕ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОАНИЗОТРОПНЫХ ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ СИСТЕМЫ Nd-Fe-B

А.С. Старикова, А.С. Лилеев

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4;
ast@misis.ru**

Реальные магнитные материалы, в частности материалы для постоянных магнитов, можно представить как ансамбли микрообъемов, при этом каждый из микрообъемов имеет свои индивидуальные гистерезисные характеристики. Эти микрообъемы в силу наличия спонтанной намагниченности, магнитостатическим образом взаимодействуют друг с другом, влияя на процессы перемагничивания. Есть ряд явлений, причиной которых является магнитостатическое взаимодействие.

Целью настоящей работы являлось установить роль магнитостатического взаимодействия на процесс перемагничивания и формирование доменной структуры высокоанизотропных одноосных ферромагнетиков системы Nd-Fe-B.

С помощью программы FMRM, разработанной на кафедре физического материаловедения, были подобраны ансамбли, имитирующие следующие реальные образцы: спеченные текстурованные магниты $Nd_{15}Fe_{77}B_8$, $Fe_{78.3}Nd_{15.2}B_{6.1}Ga_{0.4}$ и горячедеформированный спеченный магнит MQU-F.

Показано, что магнитостатическое взаимодействие обуславливает образование каналов (цепочек) из микрообъемов, намагниченных до однодомного состояния при намагничивании и перемагничивании текстурованных спеченных магнитов системы Nd-Fe-B. Установлено, что при наличии кристаллической текстуры в горячедеформированных магнитах Nd-Fe-B в результате магнитостатического взаимодействия возникают комплексы из однодомных частиц, имеющих близкое направление вектора намагниченности. Размеры комплексов увеличиваются с ростом степени текстуры и могут носить как плоский, так и объемный характер. Показано, что явление термического намагничивания вызвано магнитостатическим взаимодействием между микрообъемами и может приводить как к размагничиванию микрообъемов (переходу их в многодомное состояние) так и к их полному перемагничиванию.

Работа выполнена в рамках проекта 2.1.2/4326 «Исследование и моделирование процессов перемагничивания высококоэрцитивных сплавов для постоянных магнитов» АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».

**A-01-08 INFLUENCE OF MAGNITOSTATIC INTERACTION ON
FORMATION OF DOMAIN STRUCTURE HIGH ANISOTROPIC
SINGLE-AXIS ND-FE-B FERROMAGNETICS**

A.S. Starikova, A.S. Lileev

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, ast@misis.ru**

It is possible to present real magnetic materials, in particular materials for permanent magnets, as ensembles of the microvolumes. Each of these microvolumes has individual hysteretic characteristics. These microvolumes because of presence of spontaneous magnetization, magnetostatically interact with each other, influencing magnetic reversal processes. There are some phenomena which reason is magnetostatic interaction.

The purpose of the present work was to establish a role of magnetostatic interactions on process of magnetic reversal and formation of domain structure high anisotropic single-axis ferromagnetics by systems Nd-Fe-B.

With use of program FMRM the ensembles simulating following real samples have been picked up: sintered textured magnets $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$, $\text{Fe}_{78.3}\text{Nd}_{15.2}\text{B}_{6.1}\text{Ga}_{0.4}$ and hot-deformed sintered magnet MQU-F.

It is shown that magnetostatic interaction causes formation of channels (chains) of microvolumes, magnetized to an one-domain condition at magnetization and remagnetization textured sintered magnets by system Nd-Fe-B. It is established that in the presence of a crystal structure in hot-deformed magnets based on Nd-Fe-B as a result of magnetostatic interactions arise complexes from the one-domain particles having a close direction of a vector of magnetization. The sizes of complexes increase with growth of degree of a structure and can carry both flat, and volume character. It is shown that the phenomenon of thermal magnetization is caused by magnetostatic interaction between microvolumes and can result as to demagnetization microvolumes (to their transition in a multidomain condition) and in their full magnetic reversal.

Work is executed within the limits of the project 2.1.2/4326 "Research and modelling of processes of magnetic reversal high-coercive alloys for constant magnets" ATDP "Development of scientific potential of the higher school (2009-2010)».

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ СПИН-РЕШЕТОЧНОЙ
А-01-09С РЕЛАКСАЦИИ ЖИДКОГО ГАЛЛИЯ В ИСКУССТВЕННОМ
ОПАЛЕ**

Д.А. Яськов¹, Е.В. Чарная², D. Michel³, Ю. А. Кумзеров⁴
¹ ОАО “Завод Магнетон”, Россия, Санкт-Петербург, 194223,
ул. Курчатова, 9, iaskov@yahoo.co.uk

² Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского
государственного университета, Россия, 198504, Санкт-Петербург, Пе-
тергоф, Ульяновская ул., 1, charnaya@mail.ru

³ Leipzig University, Germany, D-04103, Linnestr., 5

⁴ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Россия,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая ул., 26

Методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР) исследовался жидкий галлий, введенный в образец искусственного опала, состоящего из плотноупакованных силикатных шаров диаметром 220 нм. Для измерения скорости спин-решеточной релаксации (СРР) использовался метод восстановления ядерной намагниченности после инвертирующего 180° импульса. Также измерялась линия ЯМР по сигналу прецессии после 90° импульса. Измерения проводились в постоянных магнитных полях 7 и 11 Т для изотопов галлия ^{69}Ga и ^{71}Ga , имеющих одинаковый спин $I=3/2$ и различные гиромагнитные отношения и квадрупольные моменты. Измерения показали значительное ускорение ядерной СРР в образце опала по сравнению с объемным галлием, что соответствует результатам, полученным в [1]. В отличие от объемного галлия, восстановление ядерной спиновой намагниченности в образце опала при одном и том же поле происходит быстрее для изотопа ^{69}Ga с большим квадрупольным моментом. Кроме того, для галлия в опале наблюдается зависимость скорости СРР от величины постоянного магнитного поля. Эти результаты указывают на то, что для галлия в опале электрический квадрупольный механизм СРР превалирует над магнитным. Отличие сдвига Найта резонансной линии галлия в образце опала от значения для объемного галлия составляет около 1%. Таким образом, время магнитной релаксации в опале, связанное соотношением Корринги со сдвигом Найта, практически не меняется по сравнению со случаем объемного галлия. Анализ выражения для восстановления ядерной намагниченности при квадрупольной СРР ядер со спином $I=3/2$ позволяет сделать вывод о замедлении скорости атомной диффузии для галлия в искусственном опале [2]. Сопоставление полученных результатов с результатами аналогичных измерений галлия в других пористых матрицах дает оценку для времени корреляции атомного движения $\tau_c = 1,6 \cdot 10^{-4} \mu\text{s}$.

[1] E.V.Charnaya, T. Loeser, D. Michel, C. Tien, D. Yaskov, Yu A Kumzerov
Phys. Rev. Letters, vol.88, (1999), 097602

[2] E.V.Charnaya, C. Tien, W. Wang, M. K. Lee, D. Michel, D. Yaskov, S. Y.
Sun, Yu A Kumzerov, Phys. Rev. B, vol.72, (2005), 035406

A-01-09C NUCLEAR SPIN-LATTICE RELAXATION STUDY OF LIQUID GALLIUM IN THE ARTIFICIAL OPAL**D.A. Yaskov¹, E.V. Charnaya², D. Michel³, Yu. A. Kumzerov⁴**¹JSC Magneton, ul. Kurchatova 9, 194223, Saint-Petersburg, Russia,
iaskov@yahoo.co.uk²Fock Institute of Physics, St. Petersburg State University,
Ul'yanovskaya ul. 1, Peterhof, Saint-Petersburg, 198504, Russia,
charnaya@mail.ru³Leipzig University, Linnestr. 5, Leipzig, D-04103, Germany⁴Ioffe Physicotechnical Institute, Politekhnikeskaya ul. 26, Saint-Petersburg, 194021, Russia

In the present work we report the results of nuclear magnetic resonance (NMR) studies of liquid gallium, embedded into artificial opal consisting of closely packed silica spheres with a diameter of 220 nm. The spin-lattice relaxation (SLR) rate was measured using an inversion recovery procedure. We also measured the NMR line by using the precession signal following 90° pulse. Gallium has two isotopes, ⁶⁹Ga and ⁷¹Ga, with spin equal to 3/2 and distinct gyromagnetic ratios and quadrupole moments. Measurement of both isotopes, ⁶⁹Ga and ⁷¹Ga, were carried out in two magnetic fields of 7 and 11 T. Nuclear spin relaxation for liquid gallium embedded into opal was found to accelerate remarkably compared to the bulk melt. Similar results were obtained for gallium embedded into various porous matrices [1]. In contrast with bulk gallium, relaxation in the same field is noticeably faster for the ⁶⁹Ga isotope with the greater quadrupole moment. Moreover, SLR rate visibly depends on the magnetic field for gallium in the opal sample. Obtained results show that the quadrupolar contribution dominates in the SLR in the opal. The difference between the Knight shift value in the opal sample and for bulk gallium is within the order of 1%. Therefore, magnetic relaxation time, which is related to the Knight shift by the Korringa relation, for confined gallium can be assumed for estimates to keep its bulk value. Analysis of the expression for the recovery of the nuclear magnetization signal in the case of quadrupole SLR of nuclei of spin 3/2 allows to make a conclusion that atomic diffusion rate decreases for gallium in the artificial opal [2]. The referencing of the results obtained with the results of similar measurements of gallium in various porous matrices [2] allows to estimate atomic motion correlation time $\tau_c = 1,6 \cdot 10^{-4}$ μ s.

[1] E.V.Charnaya, T. Loeser, D. Michel, C. Tien, D. Yaskov, Yu A Kumzerov
Phys. Rev. Letters, vol.88, (1999), 097602

[2] E.V.Charnaya, C. Tien, W. Wang, M. K. Lee, D. Michel, D. Yaskov, S. Y. Sun, Yu A Kumzerov, Phys. Rev. B, vol.72, (2005), 035406

A-01-10C СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И МАГНИТНОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ В $R(\text{Co},\text{Cu})_5$

П.С. Салев, Ю.В. Кузнецова, О.Б. Дегтева, Н.П.Супонев
Тверской государственный университет, Россия, Тверь, 170000,
ул. Желябова, 33

Проведено комплексное исследование магнитных свойств, магнитной вязкости и микроструктуры интерметаллидов типа $R(\text{Co},\text{Cu})_5$. Получены изображения ликвационных неоднородностей на базисных плоскостях монокристаллов $\text{Gd}(\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x)_5$. Получены кривые распределения их по размерам, установлена корреляция между размерами структурных неоднородностей и значениями эффективной ширины доменных границ.

Теоретический анализ эффекта магнитного последействия в данной работе был основан на том, что реальный магнитный кристалл содержит определённое количество дефектов, в результате чего наблюдаются локальные отклонения от средних значений обменного параметра A и константы анизотропии k внутри кристалла. Данный процесс соответствует появлению потенциала Φ внутри кристалла, который влияет на ход процесса перемагничивания. Каждый атом кристаллической решётки подвержен тепловым флуктуациям. В области дефекта появляется поле упругих напряжений и в результате образуется некоторая ось, вдоль которой преимущественно колеблются атомы. Следовательно, возможна ситуация, когда большинство атомов колеблется согласованно, что приводит к периодическому изменению обменного параметра A и константы анизотропии k и, соответственно, вида потенциала Φ . Потенциальный барьер, ограничивающий движение доменной границы, может исчезнуть в следующий момент времени при очередной флуктуации.

Математическое описание данного процесса приводит к выражению для времени перемагничивания:

$$t = \sum_{i=1}^k \tau_i \frac{n_i}{p_i + p_i^2 + p_i^3 + \dots + p_i^{n_i}},$$

где τ_i - средний период флуктуаций i -й группы максимумов Φ , p_i - вероятность преодоления доменной границей максимума Φ , n_i - количество максимумов Φ в рассматриваемой группе.

В рамках данной модели проведены расчеты эффекта для монокристаллов $R(\text{Co},\text{Cu})_5$. В результате выявлено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных.

**A-01-10C STRUCTURAL PECULIARITIES AND MAGNETIC AF-
TEREFFECT IN R(Co,Cu)₅**

P.S. Salyov, U.V. Kuznecova, O.B. Dyogteva, N.P. Suponev
Tver State University, Russia, Tver, 170000, Zhelyabova st., 33

The combined investigations of microstructure, magnetic properties and magnetic viscosity were carried for R(Co,Cu)₅ single crystals. Vibrating sample magnetometer method and atomic force microscopy were used. High-quality microinhomogeneity pictures were received on Gd(Co_{1-x},Cu_x)₅ single crystal basic planes. Inhomogeneity size distributions were constructed and correlation between them and domain wall width was established.

The theoretical model of magnetic aftereffect based on real interior inhomogeneity distributions was proposed. The variations of exchange parameter A and magnetic anisotropy constant k have place into this inhomogeneities. As a result the potential Φ inside a sample varies and it influences on the magnetization processes. Because the elastic stress field appearing around the inhomogeneities the preferred axes of atomic thermal fluctuations were occurred. The exchange interactions between neighboring atoms led to coordinated oscillations mainly along this axis. Hence, the A and k values change periodically in compliance with the periodical potential Φ . In that way, the potential barrier for domain wall moving can disappear if it's energy becomes smaller that energy of thermal fluctuation.

The mathematical description for magnetization relaxation time follows by expression:

$$t = \sum_{i=1}^k \tau_i \frac{n_i}{p_i + p_i^2 + p_i^3 + \dots + p_i^{n_i}}$$

where τ_i is the average period of potential maximum fluctuations for inhomogeneity group with number i , p_i is the domain wall probability to overpass the maximum, n_i is the number of potential maximum in i group.

The experimental data of magnetic viscosity are in good agreement with the theoretical calculations in frames of proposed model.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИНДУКЦИИ МАГНИТОВ PR-DY-GD-FE-CO-V МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛЯ

В.П. Пискорский, Р.А. Валеев, Е.А. Давыдова, М.В. Репина
Всероссийский институт авиационных материалов, Россия, 105005,
Москва, ул. Радио, 17, vppvpp@rambler.ru

В работе были исследованы магниты Pr-Dy-Gd-Fe-Co-V с низким температурным коэффициентом индукции (α). Сплавы $(Pr_{1-x-h}Dy_xGd_h)_{13-14}(Fe_{1-y}Co_y)_{bal}B_{6-7}$ ($x=0,18-0,58; h=0,05-0,33; y=0,2-0,36$) выплавляли в индукционной печи в атмосфере аргона, а магниты были изготовлены по обычной порошковой технологии. Величину α образцов измеряли в открытой магнитной цепи в области температур 20-100°C. Точность измерения составляла $\pm 0,005\%/^{\circ}C$. Состав основной магнитной фазы $(Pr,Dy,Gd)_2(Fe,Co)_{14}B$ (фаза А) был определен методом микрорентгеноспектрального анализа на установке SUPERPROB-733. Расчет величины α материалов проводили для составов $(Pr_{1-x-h}Dy_xGd_h)_2(Fe_{1-y}Co_y)_{14}B$, используя модель молекулярного поля в приближении пяти магнитных подрешеток. Аналогичный способ расчета ранее использован для соединений $(Nd,Dy)_2(Fe,Co)_{14}B$ (четыре подрешетки) [1]. При расчетах, подрешетки Fe и Co рассматривали как единую F-подрешетку. Температурная зависимость магнитных моментов ионов подрешеток описывается функциями Бриллюэна $B_i(x)$:

$$\mu_F(T) = \mu_F(0) B_{J_F} [\mu_F(0) \mu_B H_F(T) / kT]; \quad \mu_P(T) = \mu_P(0) B_{J_P} [\mu_P(0) \mu_B H_P(T) / kT];$$

$$\mu_D(T) = \mu_D(0) B_{J_D} [\mu_D(0) \mu_B H_D(T) / kT]; \quad \mu_G(T) = \mu_G(0) B_{J_G} [\mu_G(0) \mu_B H_G(T) / kT].$$

$\mu_F(T)$ and $\mu_P(T), \mu_D(T), \mu_G(T)$ – магнитные моменты ионов 3d-металла и $Pr^{3+}, Dy^{3+}, Gd^{3+}$, соответственно. $\mu_F(0), \mu_P(0), \mu_D(0), \mu_G(0)$ – магнитные моменты ионов при $T=0K$. $H_i(T)$ – молекулярные поля ($i=F, P, D, G$). Коэффициенты молекулярного поля n_{RF} ($R=D, P, G$) находили по формуле (1). Температуру Кюри (T_C) и коэффициенты α, β, n_{FF} определяли на основе литературных данных как в работе [1].

$$T_C \alpha (T_C \beta - n_{FF}) - n_{RF}^2 = 0 \quad (1)$$

Средняя величина отклонения между вычисленным значением α и его экспериментальным значением менее $|0,006\%/^{\circ}C|$. Достаточно хорошее соответствие между расчетными и экспериментальными значениями величин α показывает, что представленная модель позволяет описывать магниты Pr-Dy-Gd-Fe-Co-V.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-03-12103

[1] Е.Н. Каблов, А.Ф. Петраков, В.П. Пискорский и др. МиТОМ. 4 (2007) 3

**CALCULATION OF THE TEMPERATURE COEFFICIENT
A-01-11C OF INDUCTION Pr-Dy-Gd-Fe-Co-B MAGNETS BY MO-
LECULAR FIELD THEORY**

V.P. Piskorskii, R.A. Valeev, E.A. Davidova, M.V. Repina
All-Russian Institute of Aviation Materials, Russia, 105005, Moscow, Ra-
dio, 17, vppvpp@rambler.ru

Pr-Dy-Gd-Fe-Co-B permanent magnets with low temperature coefficients (α) have been studied. The alloys $(\text{Pr}_{1-x-h}\text{Dy}_x\text{Gd}_h)_{13-14}(\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y)_{\text{bal}}\text{B}_{6-7}$ ($x=0,18-0,58$; $h=0,05-0,33$; $y=0,2-0,36$) were arc-melted in argon and magnets were prepared by standard powder metallurgy techniques. The temperature coefficients of the samples were measured in open magnet circuit at temperature range 20-100°C. The observation accuracy was $\pm 0,005\%/^\circ\text{C}$. The composition of main tetragonal compounds $(\text{Pr,Dy,Gd})_2(\text{Fe,Co})_{14}\text{B}$ (phase A) was determined versus composition of the magnets by scanning electron microscope SUPERPROB-733 with energy dispersive x-ray analyzer (EDS) system. We have begun to calculate α of phase $(\text{Pr}_{1-x-h}\text{Dy}_x\text{Gd}_h)_2(\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y)_{14}\text{B}$ using a five-sublattice molecular field model, which was successfully applied previously to the $(\text{Nd,Dy})_2(\text{Fe,Co})_{14}\text{B}$ (for four-sublattices) [1]. Sublattices of Fe and Co assign as a single F-sublattice. The temperature variation of each moment is specified by a Brillouin function $B_j(x)$:

$$\begin{aligned} \mu_F(T) &= \mu_F(0) B_{J_F}[\mu_F(0)\mu_B H_F / kT]; \quad \mu_P(T) = \mu_P(0) B_{J_P}[\mu_P(0)\mu_B H_P / kT]; \\ \mu_D(T) &= \mu_D(0) B_{J_D}[\mu_D(0)\mu_B H_D / kT]; \quad \mu_G(T) = \mu_G(0) B_{J_G}[\mu_G(0)\mu_B H_D / kT]. \end{aligned}$$

$\mu_F(T)$ and $\mu_P(T)$, $\mu_D(T)$, $\mu_G(T)$ - 3d-metal and Pr^{3+} , Dy^{3+} , Gd^{3+} magnetic moments, respectively. $\mu_F(0)$, $\mu_P(0)$, $\mu_D(0)$, $\mu_G(0)$ are the zero temperature moments. $H_i(T)$ —molecular fields ($i=F,P,D,G$). Molecular field coefficients n_{RF} ($R=D,P,G$) are determined from (1). The Curie temperature (T_C) and α, β, n_{FF} -coefficients can be defined from literary data analogous [1].

$$T_C \alpha (T_C \beta - n_{FF}) - n_{RF}^2 = 0 \quad (1)$$

The average disparity between the calculated values of temperature coefficients and experiment is smaller than $|0,006\%/^\circ\text{C}|$. The good agreement between the calculated and experimental values of α shows that the five-sublattice molecular field model is successful in describing magnets Pr-Dy-Gd-Fe-Co-B.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-03-12103
[1] E.N. Kablov, A.F. Petrakov, V.P. Piskorskii and other, Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. 4 (2007) 3

A-02-01 ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИОННОГО ОТЖИГА НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ Nd-Fe-B

А.Г. Попов¹, Д.Ю. Василенко², Т.З. Пузанова¹, М.В. Дьячков²,
А.В. Власюга², В.П. Вяткин²

¹Институт физики металлов УрО РАН, 620041, Екатеринбург
²ФГУП «Уральский электромеханический завод», 620137, Екатеринбург

Традиционным способом повышения коэрцитивной силы H_c магнитов из сплавов системы Nd-Fe-B является замещение Nd на тяжелые редкоземельные элементы (ТРЗ), такие как Dy и Tb, что обусловлено повышением значений поля анизотропии H_A соединений $(Nd, \text{ТРЗ})_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Однако это приводит к существенному снижению значений остаточной индукции магнитов B_r . Вместе с тем, если значения H_A повышать только вблизи границ зерен, то удалось бы увеличить H_c без заметного уменьшения значений B_r . Такие результаты были достигнуты путем диффузионного отжига магнитов Nd-Fe-B, на поверхность которых были нанесены слои Dy [1], оксидов $(\text{ТРЗ})_2\text{O}_3$ или фторидов $(\text{ТРЗ})\text{F}_3$ [2], где ТРЗ – Dy или Tb.

В настоящей работе были проведены эксперименты по легированию диспрозием границ зерен спеченных магнитов Nd-Fe-B методом диффузионного отжига, используя в качестве источников диффузии прессованные порошки диспрозия и сплава Dy_3Co . Пластинки магнитов толщиной от 1 до 7 мм запрессовывали в порошки и затем отжигали в вакууме при 600 – 900°C в течение 5 – 20 часов. После диффузионного отжига микроструктуру магнитов и элементный состав внутри зерен и на границах изучали методом растровой электронной микроскопии. Установлено, что при контакте поверхности магнита с элементным диспрозием его атомы диффундируют преимущественно по границам зерен, и в зависимости от толщины магнита значения H_c повышаются на 4 – 6 кЭ. Диффузионный отжиг контактной пары магнит Nd-Fe-B/порошок Dy_3Co приводит к появлению Dy как на границах, так и внутри зерен. Кроме того, в зернах обнаружено появление кобальта. Прирост H_c в этом случае сопровождается снижением B_r .

Работа выполнена при поддержке государственного контракта № 02.513.11.3397 с Федеральным агентством по науке и инновациям и программы РАН №27.

[1] К.Т. Park, К. Hiraga, М Sagawa, Proc. of 16th Int. Workshop on REPM and their Applications (Sendai, Japan, 2000), p.257.

[2] К. Hirota, Н. Nakamura, Т. Minowa, М. Honshima, IEEE Trans. Magn., 42 (2006) 4909.

**A-02-01 DIFFUSION ANNEALING INFLUENCE ON PROPERTIES
OF THE Nd-Fe-B SINTERED MAGNETS****A.G. Popov¹, D.Yu. Vasilenko², T.Z. Puzanova¹, M.V. Dyachkov²,
A.V. Vlasuga², V.P. Vyatkin²****¹The Institute of Metal Physics, Ural Branch of RAS, 620041, Yekaterin-
burg****²NPP «Neomag», 620137, Yekaterinburg**

Traditional way to increase the coercivity H_c of magnets made from the Nd-Fe-B alloys is the Nd substitution for heavy rare-earth elements (R) such as Dy and Tb which results in an anisotropy field H_A increase of the $(\text{Nd,R})_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ compounds. However, it leads to a considerable reduction of the remanence B_r values of the magnets. At the same time, if the H_A values were enhanced only near the grain boundaries, it would be possible to increase H_c without the dramatic decrease of the B_r values. Such results have been achieved by diffusion annealing of the Nd-Fe-B magnets whose surface was covered in layers of Dy [1], R_2O_3 oxides or RF_3 fluorides [2], where R – Dy or Tb.

In the present work experiments have been carried out aimed at doping of the grain boundaries by Dy in the Nd-Fe-B magnets by the diffusion annealing method. Pressed powders of Dy and Dy_3Co alloy were used as sources of diffusion. Magnets with 1 to 7 mm thickness were pressed into powders and then annealed in vacuum at 600 – 900°C for 5 – 20 h. After the diffusion annealing the microstructure of the magnets and element composition inside grains and on their boundaries were studied by the scanning electronic microscopy.

It has been found that if there is a contact with the elemental Dy its atoms preferably diffuse through the grain boundaries and the H_c values increase by 4 – 6 kOe depending on thickness of the magnet. The diffusion annealing of the contact pair Nd-Fe-B magnet/ Dy_3Co powder leads to the appearance of Dy both in the grains and their boundaries. Furthermore, the cobalt appearance has been detected in grains. In this case the H_c increase is accompanied by the B_r decrease.

This work was supported by the Government Contract № 02.513.11.3397 with the Federal Agency for Science and Innovations and the RAS Program № 27.

[1] K.T. Park, K. Hiraga, M Sagawa, Proc. of 16th Int. Workshop on REPM and their Applications (Sendai, Japan, 2000), p.257.

[2] K. Hirota, H. Nakamura, T. Minowa, M. Honshima, IEEE Trans. Magn., 42 (2006) 4909.

А-02-02 **КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В СПЕЧЕННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МАГНИТАХ**

**А.Г. Попов¹, Н.В. Кудреватых², В.П. Вяткин³, Д.Ю. Василенко³,
Д.Ю. Братушев³, К.Ю. Шуняев⁴, Т.Л. Михайлова⁴**

¹ Институт физики металлов УрО РАН, 620041, Екатеринбург

² Уральский государственный университет, 620083, Екатеринбург

³ НПП «Неомаг», 620137, Екатеринбург

⁴ Институт металлургии УрО РАН, 620016, Екатеринбург

Химическая активность редкоземельных элементов (R) приводит к тому, что дисперсные порошки сплавов для постоянных магнитов (ПМ) адсорбируют большое количество кислорода (O), который при спекании порошков связывает R в устойчивые окислы R_2O_3 . Присутствие 1 вес% кислорода в магнитах Nd-Fe-B и Sm-Co-Fe-Cu-Zr снижает количество эффективно действующих Nd и Sm на 6,01 и 6,27 вес% соответственно. Недостаток Nd и Sm ухудшает спекаемость и препятствует формированию оптимальной микроструктуры ПМ, понижая их коэрцитивную силу H_c .

О содержании кислорода в редкоземельных ПМ, производимых по отечественным технологиям, имеется очень мало данных. С целью восполнения этой информации проводили анализ содержания O на всех этапах технологического цикла - от приготовления порошка до получения спеченных ПМ. Анализировали магниты, приготовленные по различным вариантам технологии: (1) используя для приготовления порошков литые сплавы и охрупченные водородом, (2) измельчая порошки в вибрационных мельницах в среде толуола и в струйных мельницах в атмосфере азота, (3) применяя прессование порошков на воздухе и в защищенных от него пресс-формах. Содержание O определяли с использованием анализаторов газов в металлах МЕТАВАК-АК и ЛЕСО в Институтах химии твердого тела и металлургии УрО РАН и в Институте металлов г. Екатеринбурга.

Концентрация O в исходных сплавах Nd-Fe-B и Sm-Co-Fe-Cu-Zr составляет около 0,02 вес%. В порошке Nd-Fe-B после водородной обработки его содержание увеличивается почти на порядок и затем примерно еще в два раза в тонких порошках и пресс-заготовках из них. При измельчении порошка в толуоле с последующей сушкой и прессованием его на воздухе загрязнение спеченных магнитов Nd-Fe-B кислородом составляет 0,45 – 0,6 вес%. Концентрация кислорода в ПМ понижается в 2 – 3 раза при использовании струйного измельчения порошка и дальнейшей защите его от контакта с воздухом при прессовании.

Работа выполнена при поддержке государственного контракта № 02.513.11.3397 с Федеральным агентством по науке и инновациям и программы РАН №27.

A-02-02

**CONTROL OF OXYGEN CONTENT IN SINTERED
RARE-EARTH MAGNETS****A.G. Popov¹, N.V. Kudrevatykh², V.P. Vyatkin³, D.Yu. Vasilenko³,
D.Yu. Bratushev³, K.Yu. Shunyaev⁴, T.L. Mikhailova⁴****¹The Institute of Metal Physics, Ural Branch of RAS, 620041, Yekaterin-
burg****²The Ural State University, 620083, Yekaterinburg****³NPP «Neomag», 620137, Yekaterinburg****⁴The Institute of Metallurgy, Ural Branch of the RAS, 620016, Yekaterin-
burg**

Chemical activity of rare-earth elements (R) causes fine powders to adsorb large amounts of oxygen which converts R into the stable R_2O_3 oxides during sintering. The presence of 1 wt% oxygen in the Nd-Fe-B or Sm-Co-Fe-Cu-Zr magnets reduces the amount of effective Nd and Sm by 6.01 and 6.27 wt%, respectively. A lack of R deteriorates the sintering and impedes the formation of the optimum magnet microstructure reducing their coercivity H_c .

There are very few data on the oxygen content in rare-earth magnets produced by domestic technologies. In order to obtain this information an analysis has been carried out to identify the oxygen content at all stages of the technological processing of the alloys – from powder preparation to sintered magnets. Magnets prepared by different technological routes have been analyzed. They included: (1) using of the as-cast and hydrogen decrepitated alloys for the preparation of the powders, (2) ball milling of the powders in toluene and jet-milling of them in a nitrogen atmosphere, (3) pressing of the powders in air and in rubber moulds protected from air. The oxygen analyses have been made using METABAK- and LECO-analysers in the Institute of Solid State Chemistry, and the Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the RAS and in the Institute of Metals, Yekaterinburg.

The oxygen concentration in the starting Nd-Fe-B and Sm-Co-Fe-Cu-Zr alloys is about 0.02 wt%. In the Nd-Fe-B powder after the hydrogen decrepitation its content increases by almost one order of magnitude and then becomes two more times as high in fine powders and green-compacts made from them. If the powder milled in toluene is dried and pressed in air, the oxygen contamination of the sintered Nd-Fe-B magnets constitutes 0.45 – 0.6 wt%. Oxygen concentration is decreased by 2 – 3 times when the powders are produced by jet-mill processes followed by its protection from the contact with air during pressing.

The work was supported by the Government Contract № 02.513.11.3397 with the Federal Agency for Science and Innovations and the RAS Program # 27.

А-02-03 ФОРМИРОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ СТЕПЕНИ В МАГНИТАХ Nd-Fe-B С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

**А.Г. Попов¹, Н.В. Кудреватых², Д.Ю. Василенко³, Д.Ю. Братушев³,
В.П. Вяткин³, Е.Г. Герасимов¹, П.Б. Терентьев¹**

¹ Институт физики металлов УрО РАН, 620041, Екатеринбург

² Уральский государственный университет, 620083, Екатеринбург

³ НПП «Неомаг», 620137, Екатеринбург

Формирование текстуры пресс-порошков в импульсном магнитном поле и последующее их прессование в гидростате является одним из наиболее эффективных путей достижения высокой степени текстуры в спеченных магнитах Nd-Fe-B. В настоящей работе исследовано влияние числа импульсов N с амплитудой 40 кЭ на степень наводимой текстуры α_T и гистерезисные свойства получаемых спеченных магнитов (СМ). Порошки сплава 31,2Nd-67,7Fe-1,1B (вес%) измельчали в вибромельнице в среде толуола до среднего размера частиц 4,1 мкм. Высушенные на воздухе порошки помещали в эластичные матрицы и текстуровали при $N = 0, 1, 3, 5$ и 7 , а затем прессовали и спекали.

Степень текстуры в СМ определяли путем измерения петель гистерезиса вдоль и поперек текстуры на установке импульсных магнитных полей. С этой целью из СМ вырезали сферические образцы диаметром около 3 мм. Количественную оценку α_T выполняли двумя способами. Во-первых, средний угол отклонения осей легкого намагничивания (ОЛН) зерен от оси текстуры φ определяли из выражения:

$$\varphi = \arctg(2B_{rp}/B_r) \quad (1),$$

где B_r и B_{rp} – значения остаточной намагниченности на петлях гистерезиса, измеренных вдоль и поперек оси текстуры соответственно, при этом

$$\alpha_T = \cos \varphi \quad (2).$$

Во-вторых, использовали традиционное выражение:

$$\alpha_T = B_r/B_s \quad (3),$$

в котором в качестве значений B_s применяли значения намагниченности, измеренные в импульсном поле напряженностью 150 кЭ - B_{150} .

От изотропного состояния при $N = 0$ степень текстуры в СМ резко возрастает до 0,95 при $N = 1$. С увеличением N до трех α_T дополнительно повышается до 0,97 и далее вплоть до $N = 7$ не возрастает. Значения B_r , измеренные при комнатной температуре, достигают 13,4 кГс при $N = 7$, а значения H_c уменьшаются от 10,4 до 4,7 кЭ с увеличением N от 0 до 7.

Работа выполнена при поддержке государственного контракта № 02.513.11.3397 с Федеральным агентством по науке и инновациям.

**A-02-03 FORMATION OF TEXTURE AND DETERMINATION OF
ITS DEGREE IN THE Nd-Fe-B MAGNETS USING PULSE
MAGNETIC FIELDS**

**A.G. Popov¹, N.V. Kudrevatykh², D.Yu. Vasilenko³, D.Yu. Bratushev³,
V.P. Vyatkin³, E.G. Gerasimov¹, P.B. Terent'ev¹**

¹The Institute of Metal Physics, Ural branch of RAS, 620041, Yekaterinburg

²The Ural State University, 620083, Yekaterinburg

³NPP «Neomag», 620137, Yekaterinburg

The pulse-field alignment of press-powders put into elastic moulds followed by pressing them in hydrostats is one of the most effective ways to achieve high degree of texture in the Nd-Fe-B sintered magnets (SM). In the present work the influence of the number of pulses N with the amplitude of 40 kOe on the degree of alignment α_T and hysteresis properties of obtained SM has been studied. The 31.2Nd-67.7Fe-1.1B (wt %) alloy powders were ground in a vibrating mill in toluene down to the average grain size of 4.1 μm . The powders were dried in air and put into elastic moulds, aligned at $N = 0, 1, 3, 5$ and 7 and then pressed and sintered.

The degree of alignment in the SM was determined by measuring hysteresis loops along and perpendicular to the alignment direction using a pulse magnetic field device (PMFD) with fields applied up to 160 kOe at 200 and 293 K. In order to do this, spherical specimens about 3 mm in diameter were cut from the sintered magnets. The quantitative analysis of α_T was carried out in two ways. At first, average angle of the deviation of the easy magnetization directions of grains (EMD) from the alignment axis φ was determined as

$$\varphi = \arctg(2B_{rp}/B_r) \quad (1),$$

where B_r and B_{rp} – the remanence values determined from the hysteresis loops measured along and perpendicular to the alignment axis, respectively, with

$$\alpha_T = \cos \varphi \quad (2).$$

Secondly, the conventional expression was used:

$$\alpha_T = B_r/B_s \quad (3),$$

in which magnetization values measured in an impulse 150 kOe field B_{150} were used as the B_s values.

The degree of alignment in the SM grows substantially from the isotropic state to 0.95 for $N = 0$ and 1, respectively. As the number of pulses increases up to three α_T additionally increases up to 0.97 and then is not enhanced any further when $N = 7$. The B_r values at room temperature reach 13.4 kG for $N = 7$ while the coercivity values decrease from 10.4 to 4.7 kOe when N changes from 0 to 7.

This work was supported by the Government Contract № 02.513.11.3397 with the Federal Agency for Science and Innovations and the RAS Program № 27.

A-02-04

**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ
СПЛАВОВ $\text{SmFe}_{11-x}\text{Ga}_x\text{C}_{1.25}$ ($2 \leq x \leq 5$)**

А.Г. Попов, Д.И. Горбунов, В.С. Гавико, Л.А. Сташкова
Институт физики металлов УрО РАН, 620041, Екатеринбург,
apopov@imp.uran.ru

Недавно обнаружено, что замещение железа на галлий в сплавах $\text{RFe}_{11-x}\text{Ga}_x\text{C}$ ($\text{R} - \text{Pr}, \text{Sm}$) позволяет стабилизировать соединение $\text{R}(\text{Fe},\text{Ga})_{11}\text{C}$ с тетрагональной структурой типа BaCd_{11} (пространственная группа $I4_1/amd$). Повышение содержания галлия сопровождается ростом параметров решетки, но снижением температуры Кюри T_C и намагниченности насыщения соединения $\text{R}(\text{Fe},\text{Ga})_{11}\text{C}$ (1:11). Соединение $\text{PrFe}_8\text{Ga}_3\text{C}$ имеет анизотропию типа «легкая плоскость». Поскольку ионы Pr^{3+} и Sm^{3+} имеют противоположные знаки параметра Стивенса, то можно ожидать, что в соединении $\text{Sm}(\text{Fe},\text{Ga})_{11}\text{C}$ ось легкого намагничивания (ОЛН) будет ориентироваться вдоль оси c тетрагональной решетки. Небольшое количество фазы 1:11 обнаружено только в литом сплаве $\text{SmFe}_8\text{Ga}_3\text{C}$. Его быстрая закалка приводит к увеличению объемной доли этой фазы более 80%. Настоящая работа посвящена определению концентрационной области существования фазы 1:11 в системе быстрозакаленных сплавов (БЗС) $\text{SmFe}_{11-x}\text{Ga}_x\text{C}_{1.25}$ и изучению их магнитных гистерезисных свойств.

Ленты БЗС $\text{SmFe}_{11-x}\text{Ga}_x\text{C}_{1.25}$ ($2 \leq x \leq 5$) были приготовлены путем разлива расплава исходных сплавов на вращающееся стальное колесо со скоростью 20 м/с. Фрагменты лент отжигали в атмосфере аргона при 700 – 850°С в течение 10 мин.

Показано, что фаза 1:11 формируется в БЗС при $2 < x \leq 5$, при этом она сосуществует с фазой $\text{Sm}_2(\text{Fe},\text{Ga})_{17}\text{C}$. Наибольшее количество фазы 1:11 обнаружено в БЗС с $x = 3$. С увеличением содержания галлия до $x = 5$ ее объемная доля уменьшалась до 24%. При низкой концентрации галлия ($x = 2$) формировались только $\text{Sm}_2(\text{Fe},\text{Ga})_{17}\text{C}$ и $\alpha\text{-Fe}$. Размер зерен различных фаз изменялся в диапазоне 20 – 50 мкм.

В БЗС с $x = 3$ значение коэрцитивной силы H_c при комнатной температуре составляло 52 кА/м и возрастало в 6 раз при 80 К. Максимум H_c наблюдался после отжига БЗС $\text{SmFe}_8\text{Ga}_3\text{C}_{1.25}$ при 800°С и составлял 386 кА/м. Это свидетельствует о том, что H_c обусловлена высокой энергией магнитокристаллической анизотропии магнитоодноосного соединения $\text{Sm}(\text{Fe},\text{Ga})_{11}\text{C}$. Значения H_c в БЗС с $x = 4$ и 5 снижались в соответствии с уменьшением объемной доли фазы 1:11 в них.

Работа поддержана РФФИ (грант № 07-02-00219) и программой РАН №27.

A-02-04

**MAGNETIC PROPERTIES OF MELT-SPUN
SmFe_{11-x}Ga_xC_{1.25} (2 ≤ x ≤ 5) ALLOYS**

A.G. Popov, D.I. Gorbunov, V.S. Gaviko, L.A. Stashkova
The Institute of Metal Physics, Ural branch of RAS, 620041, Yekaterin-
burg, apopov@imp.uran.ru

It has recently been found that the substitution of gallium for iron in RFe_{11-x}Ga_xC (R – Pr, Sm) alloys stabilizes the R(Fe,Ga)₁₁C compound with the tetragonal BaCd₁₁-type structure (space group *I4₁/amd*). The gallium content increase is accompanied by the growth of lattice parameters and decrease of the Curie temperature T_C and saturation magnetization of the R(Fe,Ga)₁₁C (1:11) compound. The PrFe₈Ga₃C compound exhibits easy-plane anisotropy. Since Pr³⁺ and Sm³⁺ ions have different signs of the Steven's parameter, it is expected that the easy magnetization direction (EMD) of the Sm(Fe,Ga)₁₁C compound will be oriented along the *c* axis of the tetragonal lattice.

A small amount of the 1:11 phase was found only in the as-cast SmFe₈Ga₃C alloy. Its volume fraction increases up to more than 80% in the as-spun alloy. In the present work the concentration region of the 1:11 phase existence is identified in the system of the melt-spun SmFe_{11-x}Ga_xC_{1.25} alloys and their magnetic properties are investigated.

The rapidly-quenched SmFe_{11-x}Ga_xC_{1.25} (2 ≤ x ≤ 5) ribbons were obtained by melt-spinning on steel wheel rotating with the speed of 20 m/s. Fragments of the ribbons were annealed in an Ar atmosphere at 700 – 850°C for 10 min.

It has been shown that the 1:11 phase is formed in melt-spun alloys in the range 2 < x ≤ 5 and that it coexists with the Sm₂(Fe,Ga)₁₇C phase. Maximum 1:11 phase content is found in the melt-spun alloy with x = 3. Its volume fraction decreases up to 24% when the gallium content reaches x = 5. At low gallium concentration (x = 2) only Sm₂(Fe,Ga)₁₇C and α-Fe are formed. The grain size of different phases is changed in the range of 20 – 80 nm.

In the melt-spun alloy with x = 3 the coercivity H_c is 52 kA/m at room temperature and becomes 6 times as high at 80 K. The H_c reaches its maximum value after the 800°C annealing and equals to 386 kA/m. It means that H_c is caused by the high magnetocrystalline anisotropy of the easy-axis Sm(Fe,Ga)₁₁C compound. The H_c values decrease in the melt-spun alloys with x = 4 and 5 in accordance with the 1:11 phase content reduction in them.

This work was supported by the RFBR (grant № 07-02-00219) and the RAS Program №27

**A-02-05 ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОТВЕРДЫХ И МАГНИТО-
МЯГКИХ КОМПОЗИТОВ Nd-Fe-B/Fe**

Е.Н.Тарасов, А.В.Зинин, Я.В.Панова, М.К.Шарин

Научно-исследовательский институт физики и прикладной математики Уральского Государственного университета им. А.М.Горького, Россия, 620083, Екатеринбург, Ленина, 51, Evgeniy.Tarasov@usu.ru

Обменно-связанные магнитные системы являются чрезвычайно перспективными для создания высокоэнергетических постоянных магнитов для самых разнообразных приложений. Примерами подобных систем являются активно изучающиеся в настоящее время составы на основе композитов SmCo/Fe, Nd-Fe-B/Fe. На основе последних, предполагается получение постоянных магнитов следующего поколения, обладающих большими значениями магнитных параметров, а также улучшенными температурными и износостойкими характеристиками.

В русле этих поисков находятся и задачи, решаемые в данной работе, а именно; исследование магнитных свойств композитов, разного состава и плотности, из магнитотвердых порошков Nd-Fe-B, полученных методиками, HDDR-процесса и быстрой закалкой сплава, с магнитомягкими (нано-Fe и карбонильное железо) порошками.

A-02-05 RESEARCH OF HARD MAGNETIC AND SOFT MAGNETIC OF COMPOS Nd-Fe-B/Fe

E.N.Tarasov, A.V.Zinin, Ya.V.Panova, M.K.Sharin

Scientific research institute of physics and applied mathematics of the Ural State University the name of Gorki, Russia, 620083, Yekaterinburg, st. Lenina, 51, Evgeniy.Tarasov@usu.ru

The exchange-coupled interaction magnetic systems are extremely perspective for creation of high-energy constant magnets for the diversified appendices.

The examples of the similar systems is an active study of compositions on the basis of compos SmCo/Fe, Nd-Fe-B/Fe.

On the basis of the last, the receipt of permanent magnets of next generation, possessing the large values of magnetic parameters, and also improved temperature and wearproof descriptions is assumed.

In the tideway of these searches there are the problems solved in this work, namely; research of magnetic properties of composites, various structure and density, of the hart magnetic powders Nd-Fe-B received by techniques, HDDR-process and rapid tempering of alloy, with soft magnetic (nano-fe and karbonil'noe iron) powders.

А-02-06 **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ МАГНИТОВ ТИПА $(Nd,R)_2(Fe,M)_{14}(B,C)$**

**А.А. Лукин¹, А.Г. Дормидонтов², С.Б. Мухо¹, П.С. Перевощиков¹,
К.Л. Сергеев¹, С.В. Сергеев¹**
¹ ООО «НПК ММС»

² ФГУП «Спецмагнит», Россия, Москва, 127283, Дмитровское ш., 58, npkmms@mail.ru

Несмотря на значительные успехи в достижении высоких магнитных свойств на постоянных магнитах (ПМ) типа Nd-Fe-B, многие вопросы по особенностям их перемагничивания остаются до конца не ясными [1-3]. Исследовалось влияние исходного магнитного состояния ПМ типа $(Nd,R)_2(Fe,M)_{14}(B,C)$ на величину намагничивающего поля, а также размагничивающие части петль гистерезиса. Анализировалось влияние химсостава ПМ и технологии их изготовления на эксплуатационную, в частности, термовременную, стойкость ПМ в рабочем интервале температур. Показано, что для ПМ частично или полностью размагниченных магнитным полем необходимо намагничивающее поле приблизительно в два раза большее, чем после термического размагничивания. Конкретные значения намагничивающих полей зависят от химического состава, формы, текстуры и других параметров ПМ. Размагничивающие части петль гистерезиса имеют существенные особенности, связанные со способом частичного размагничивания ПМ. В частности, при размагничивании ПМ нагревом в отсутствие внешнего магнитного поля наблюдаются характерные перегибы (резкий рост намагниченности) в малых (100-200 кА/м) магнитных полях, что может привести при сборке ПМ в систему к отклонению от заданных параметров. Разработаны ПМ с высокой квадратностью петли гистерезиса за исключением участка вблизи коэрцитивной силы по намагниченности (iH_c). Это позволяет более точно производить частичное размагничивание для выравнивания уровня магнитного параметра группы ПМ до заданного значения. Исследовалось влияние различных факторов (химсостав, параметры техпроцесса, плотность) на эксплуатационную стойкость ПМ. Показана важная роль температурного воздействия {на (10-60)К выше температуры Кюри} на ПМ, связанная с инварным эффектом, на формирование и сохранение высококоэрцитивного состояния. Предложена методика оценки эксплуатационной стойкости ПМ на основе данных по химсоставу, петле гистерезиса и зависимости iH_c от низкотемпературной (450-700К) обработки.

1. А. С. Лилеев. Изв. РАН. Сер. Физическая. 71 (2007) 1560.
2. R. Kobayashi et. al. 20 Int. Workshop on RE Magnets and their Appl. Knossos – Crete. September 8-10 (2008) P. 138.
3. В. А. Глебов, А. А. Лукин. Нанокристаллические редкоземельные магнитотвердые материалы. М. Изд. ВНИИНМ. (2007) С. 179.

A-02-06 PECULIARITIES OF REMAGNETIZATION AND STABILITY OF $(\text{Nd,R})_2(\text{Fe,M})_{14}(\text{B,C})$ MAGNETS

**A.A. Lukin¹, A.G. Dormidontov², S.B. Mukho¹, P.S. Perevoschikov¹,
K.L. Sergeev¹, S.V. Sergeev¹**

¹ Ltd. «NPK «Magnets and magnetic systems»

² FGUP “S-magnet”, Russia, 127283, Moscow, Dmitrovskoye sh. 58,
npkmmms@mail.ru

In spite of significant success in high properties achievement on Nd-Fe-B permanent magnets (PM) many issues concerning peculiarities of their remagnetization are not completely clear today [1-3]. In this paper influence of initial condition of $(\text{Nd,R})_2(\text{Fe,M})_{14}(\text{B,C})$ PM on magnetization field as well as on demagnetization parts of hysteresis loops was investigated. Influence of PM chemical composition and technology of their manufacturing on thermal stability in time in exploitation temperature interval was also studied. It is shown that magnetizing field for permanent magnets partly or completely demagnetized by magnetic field should be approximately two times as much in comparison with magnets after thermal demagnetization. Specific values of magnetizing fields depend on chemical composition, shape, texture and other PM parameters. Demagnetization parts of hysteresis loops have significant peculiarities depending on method of PM partial demagnetization. For example, demagnetization of PM by heating without external magnetic field leads to characteristic curve inflections (sharp magnetization increasing) in low (100-200 kA/m) magnetic fields that may result in deflection from required parameters at magnetic system assembling. PM having high squareness of hysteresis loop excluding its part near coercive force (H_c) were developed. It allows to implement more precise partial demagnetization for leveling of PM magnetic parameter up to necessary value. Influence of various factors (chemical composition, technology parameters, density) on PM thermal stability in exploitation was studied. Important role of temperature influence {in the interval higher than Curie temperature on (10-60)K} on PM caused by invar effect as well as on formation and preservation of high-coercive condition was demonstrated. Procedure of PM exploitation resistance evaluation on the basis of chemical composition, hysteresis loop, and dependence on low-temperature (450-700K) treatment was proposed.

1. A. S. Lileev. Proceedings of the Academy of Sciences. Series Physical. 71 (2007) 1560.
2. R. Kobayashi et. al. 20 Int. Workshop on RE Magnets and their Appl. Knossos – Crete. September 8-10 (2008). P. 138.
3. V.A. Glebov, A. A. Lukin. Nanocrystal rare-earth hard magnetic materials. Moscow. Publ. VNIINM (2007) P. 179.

A-02-07

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТНЫХ
СВОЙСТВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАГНИТОТ-
ВЕРДЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ МАРОК
БЗМП И MQP-B**

**Н.В.Кудреватых¹, А.С.Волегов¹, А.В.Глебов², С.В.Андреев¹,
В.Г.Пушин³, П.Е.Маркин^{1,3}, Д.С.Незнахин¹**

¹НИИ ФПМ УрГУ, Россия, 620083, Екатеринбург, пр. Ленина 51,
Nikolai.Kudrevatykh@usu.ru

²ОАО «ВНИИНМ» имени А.А.Бочвара, Россия, 123060, Москва,
а/я 369, post@bochvar.ru

³Институт физики металлов УрО РАН, Россия, 620219, Екатеринбург,
ул.С.Ковалевской, 18, Pushin@imp.uran.ru

Методами электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ), рентгеноструктурного анализа и прецизионной магнитометрии (вибрационный магнитометр, СКВИД–магнитометр) исследованы микроструктура и магнитные гистерезисные свойства промышленно выпускаемых магнитотвердых нанокристаллических сплавов марок БЗМП и MQP-B, широко используемых в качестве порошковых наполнителей в магнитопластах и магнитоэластах, с целью определения: а) температурного диапазона существования в них эффекта усиления остаточной намагниченности (ЭУОН) выше Стонер-Вольфартовского значения $\sigma_r/\sigma_s=0,5$; б) температурной зависимости величины коэрцитивной силы $H_c(T)$; в) механизмов магнитного гистерезиса и энергии межзеренных взаимодействий, обуславливающих ЭУОН. Установлено, что с ростом температуры величина ЭУОН уменьшается в однофазных сплавах (MQP-B, БЗМП-2) и увеличивается в двухфазных (БЗМП-3), что согласуется с результатами расчетов по модели Kneller'a и Hawing'a [1]. Показано, что зависимости $H_c(T)$ качественно согласуются с температурным ходом поля анизотропии данного класса материалов, что в сочетании с особенностями процессов намагничивания свидетельствуют о механизме их коэрцитивности – задержке вращения вектора спонтанной намагниченности. Гистерезисные явления при разных температурах проанализированы путем построений Хенкеля [2]. Впервые обнаружено, что при увеличении температуры происходит сдвиг кривых Хенкеля в область отрицательных значений для всех исследованных сплавов, что вероятно обусловлено увеличением вклада тепловой энергии и ослаблением обменного вклада в общий энергетический баланс.

Полученные данные позволяют сделать выбор температурного интервала практического применения магнитопластов и магнитоэластов на основе наполнителей марок БЗМП и MQP-B.

[1] E.F. Kneller, R. Hawing, IEEE Trans. Magn. 27 (1991) 3588

[2] P.E.Kelly et. all., IEEE Trans. Magn. 25 (1989) 3881.

A-02-07 MAGNETIC PROPERTIES TEMPERATURE DEPENDENCES OF RARE-EARTH NANOCRYSTALLINE HARD MAGNETIC ALLOYS OF BZMP AND MQP-B BRANDS

N.V.Kudrevatykh¹, A.S.Volegov¹, A.V.Glebov², S.V.Andreev¹, V.G.Pushin³, P.E.Markin^{1,3}, D.S.Neznakhin¹

**¹SRI PAM USU, Russia, 620083, Ekaterinburg, Lenin av., 51,
Nikolai.Kudrevatykh@usu.ru**

**²JSV VNIINM after A.A.Bochvar, Russia, 1230120, Moskow, box 369,
post@bochvar.ru**

**³Institute of Metal Physics UB RAS, Russia, 620219, Ekaterinburg,
S.Kovalevskaya str. 18, Pushin@imp.uran.ru**

Using the electronic microscopy (SEM and TEM), X-rays structure analysis and precise magnetometry (VSM, SQUID – magnetometer) methods the microstructure and magnetic hysteresis properties of industrially manufactured hard magnetic rare-earth base alloys of BZMP and MQP-B brands which are widely applied as fillers for bonded magnets (magnetoplasts and magnetoelasts) have been studied. The aims of this research were: a) defining the remanence enhancement effect (REE) temperature interval (where the σ_r/σ_s -ratio is higher of the Stoner-Wolfart limit =0.5); b) determination of their coercivity temperature dependences - $H_c(T)$; c) magnetic hysteresis mechanism as well as the energy of nano-grains interaction determination which courses the REE.

It was found that with the temperature increase the REE value is lowering for the single phase alloys (BZMP-2, MQP-B) and increases for two magnetic phase alloys (BZMP-3). This REE behavior agrees well with the Kneller –Hawing’s model [1] calculations. It was shown also that $H_c(T)$ -dependences have the same view as the anisotropy field temperature function for $Nd_2Fe_{14}B$ -phase which with the connection of the magnetization process peculiarities indicates to the magnetization rotation block coercivity mechanism. Hysteresis phenomena at different temperatures have been analyzed using the Henkel’s plots [2]. It was found for the first time that with the temperature increase the Henkel curves are shifted to the negative region for all investigated samples which is probably coursed by the heat energy contribution raise and simultaneous exchange energy term weakening in the total energy balance for such systems.

Obtained results allow to select the proper temperature range bonded magnets applications on the base of BZMP and MQP-B fillers.

[1] E.F. Kneller, R. Hawing, IEEE Trans. Magn. **27** (1991) 3588

[2] P.E.Kelly et. all., IEEE Trans. Magn. **25** (1989) 3881.

РЕСТАВРАЦИЯ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ В ПОРОШКАХ ИЗ СПЕЧЕННЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ Nd-Fe-B
А-02-08

**Е.Н. Тарасов, А.В. Зинин, Я.В. Панова, М.К. Шарин,
С.В. Андреев, О.А. Миляев**

Научно-исследовательский институт физики и прикладной математики Уральского Государственного университета им. А.М.Горького, Россия, 620083, Екатеринбург, ул. Ленина, 51, Evgeniy.Tarasov@usu.ru

Проблема изготовления магнитопластов на основе Nd-Fe-B, с потенциально возможными магнитными свойствами, до сих пор не решена, поскольку, при обычном измельчении сплавов или спеченных магнитов, не удастся получить порошки с достаточно высокой коэрцитивной силой. Эта проблема решается либо путем измельчения быстрозакаленных лент, приготовленных из сплавов Nd-Fe-B, либо методами механического сплавообразования. Третьим, наиболее перспективным и применяемым методом, является HDDR обработка.

Главным же недостатком всех вышеуказанных высококоэрцитивных порошков является изотропность их магнитных свойств.

В последнее время появились работы, в которых проводятся исследования по восстановлению коэрцитивной силы в порошках, полученных измельчением спеченных постоянных магнитов из сплавов Nd-Fe-B. Перспективность этого метода очевидна, так как он позволяет получать анизотропные порошки и утилизировать отходы производства спеченных постоянных магнитов Nd-Fe-B.

В данной работе приведены результаты исследования порошков, полученных измельчением спеченных постоянных магнитов из сплавов Nd-Fe-B.

**A-02-08 RESTORATION OF COERCIVITY FORCE IN POWDERS
FROM SINTERED PERMANENT MAGNETS Nd-Fe-B**

**E.N.Tarasov, A.V.Zinin, Ya.V.Panova, M.K.Sharin,
S.V.Andreev, O.A.Milyaev**

**Scientific research institute of physics and applied mathematics of
the Ural State University the name of Gorki, Russia, 620083, Yekaterin-
burg, st. Lenina, 51, Evgeniy.Tarasov@usu.ru**

The manufacturing problem bonded on the basis of Nd-Fe-B, a potentially possible magnetic properties, is not solved till now, at usual crushing of alloys or sintered magnets, it is not possible to receive powders with enough high of coercivity force. This problem can be solved or by crushing melt spun followed the tapes prepared from alloys Nd-Fe-B, or methods of mechanical formation of alloys. The third, most perspective and applied method, processing is HDDR.

The main lack of all above-stated strong coercivities powders is isotropic their of magnetic properties.

Recently there were works in which researches on restoration of coercivity force in the powders received by crushing sintered of permanent magnets from alloys Nd-Fe-B. Perspectivity of this method is obvious, as it to allow to receive anisotropic powders and utilization of wastes of production sintered permanent magnets Nd-Fe-B.

In the given work results are watched of research of the powders received by crushing sintered of permanent magnets from alloys Nd-Fe-B are resulted.

A-02-09C

**ЭФФЕКТ ВЕСТЕНДОРФА НА МАГНИТАХ
Pr(Nd)-Dy-Ce-Fe-B****В.П. Пискорский¹, Р.А. Валеев¹, Г.С. Бурханов², И.С. Терешина², Е.А. Давыдова¹, М.В. Репина³, А.В. Бузенков¹**¹ Всероссийский институт авиационных материалов, Россия, 105005, Москва, ул. Радио, 17, vppvpp@rambler.ru² Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Россия, 119991, Ленинский пр., 49³ ОАО «РПКБ», Россия, 140102, г. Раменское, ул. Гурьева, 2

В работе были исследованы магнитотвердые материалы ($\text{Pr}_{1-p-x}\text{Nd}_p\text{Dy}_x\text{Ce}_h$)₁₄(Fe_{1-y}Co_y)_{ост.}B₇ ($p=0,08-0,22$; $x=0,36-0,41$; $h=0,06-0,19$). Сплавы были выплавлены в вакуумной индукционной печи в атмосфере аргона, а магниты изготовлены по обычной порошковой технологии. Образцы были термообработаны по режиму $1000^\circ\text{C} \times 1 \text{ час} + T_{\text{TR}} \times 1 \text{ час}$ (после термообработки при 1000°C , образцы охлаждали до комнатной температуры; T_{TR} – температура термообработки). Величина коэрцитивной силы (H_{CI}) в зависимости от T_{TR} имеет минимум при $T_{\text{TR}} \approx 700^\circ\text{C}$, а после термообработки при 1000°C возвращается в исходное состояние, независимо от T_{TR} (причем, значение H_{CI} в точке минимума в 2-4 раза меньше, чем после 1000°C). Аналогичное поведение H_{CI} от T_{TR} наблюдается в магнитах системы SmCo₅ и известно как эффект Вестендорфа. Зависимость H_{CI} от T_{TR} и ее восстановление после $T_{\text{TR}}=1000^\circ\text{C}$ может быть объяснена диффузией бора между зернами основной магнитной фазы 2-14-1 и межзеренными фазами (Pr,Dy,Ce)(Fe,Co)₄B, (Pr,Dy,Ce)(Fe,Co)₃B₂, (Pr,Dy,Ce)₂(Fe,Co)₃B. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-03-12103

A-02-09C

**EFFECT OF WESTENDORP ON MAGNETS
Pr(Nd)-Dy-Ce-Fe-B****V.P. Piskorskii¹, R.A. Valeev¹, G.S. Burchanov², I.S. Tereschina², E.A. Davidova¹, M.V. Repina³, A.V. Buzenkov¹**¹ All-Russian Institute of Aviation Materials, Russia, 105005, Moscow, Radio, 17, vppvpp@rambler.ru² Institute of metallurgii and materialovedenia named after A.A. Baikov, Russia, 119991, Moscow, Leninskii prospect, 49³ OAO «РПКВ», Russia, Ramenskoe, Gurieva, 2

Pr(Nd)-Dy-Ce-Fe-Co-B permanent magnets with low temperature coefficients have been studied. The alloys $(Pr_{1-p-x-h}Nd_p Dy_x Ce_h)_{14}(Fe_{1-y}Co_y)_{0.8}B_7$ ($p=0,08-0,22$; $x=0,36-0,41$; $h=0,06-0,19$) were arc-melted in argon and magnets were prepared by standard powder metallurgy techniques. For the samples annealed at different temperatures (T_{TR}) for one hour, their coercivity (H_{CI}) has been measured. As the annealing temperatures are about 700°C, H_{CI} is degraded abruptly (2-4 times less than H_{CI} after $T_{TR}=1000^\circ C$). This degradation H_{CI} can be restored by the heat treatment at $T_{TR}=1000^\circ C$. The strong annealing temperature dependence of H_{CI} and its reversible variation (after $T_{TR}=1000^\circ C$) is attributed to microstructure change (diffusion of boron between the boundary phase 2-14-1 and the intergranular phasis $(Pr,Dy,Ce)(Fe,Co)_4B$, $(Pr,Dy,Ce)(Fe,Co)_3B_2$, $(Pr,Dy,Ce)_2(Fe,Co)_3B$ and other) as function of the T_{TR} .

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-03-12103

A-02-10C СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ТОНКИХ СЛОЕВ Nd – Fe – B

А.К.Богущ¹, О.Ф.Демиденко², А.И.Галяс², Г.И.Маковецкий²,
К.И.Янушкевич²

¹ Предприятие «ФЕРРИТ», Беларусь, 220072, Минск, П.Бровки, 19,
info@ferrit.by

² ГО «НПЦ НАН Беларуси», Беларусь, 220072, Минск, П.Бровки, 17,
kazimir@ifftp.bas-net.by

Методом «вспышки» на установке *УВН-71Р-2* синтезированы тонкие слои *Nd-Fe-B*. Толщины пленок заключены в интервале $50 \text{ нм} \leq d \leq 1500 \text{ нм}$. В качестве шихты при напылении пленок взяты порошки двух сортов с размером зерна $\Delta 2r \sim 0.1 - 0.3 \text{ мкм}$: 1 – исходного сырья *MQP-B⁺*, используемого для синтеза постоянных магнитов *Nd₂Fe₁₄B*; 2 – полученных дроблением постоянного магнита *Nd₂Fe₁₄B*, производимого предприятием «Феррит». Во избежание слипания крупинки дробленого магнита *Nd₂Fe₁₄B* для обеспечения равномерной подачи на танталовый испаритель установки *УВН-71Р-2* они предварительно подвергались отжигу при $\sim 700^\circ\text{C}$. Намагничивание с ориентацией вектора магнитного момента в плоскости пленки осуществлено при комнатной температуре в импульсном магнитном поле. Слои *Nd – Fe – B* на оптическом стекле прозрачны при толщинах $d \leq 120 \text{ нм}$. Изучение оптических спектров на спектрометре *Caу-500 Scan* в диапазоне длин волн $200 - 3000 \text{ нм}$ показало, что при толщине слоев $d \sim 100 \text{ нм}$ коэффициент пропускания имеет величину $T \sim 15\%$. Анализ рентгенограмм относительно «толстых» пленок ($\sim 1000 \text{ нм}$) свидетельствуют о присутствии в пленках свободного железа. При таких толщинах на рентгенограммах уже наблюдаются размытые рефлексy типа «гало», которые охватывают интервалы углов в несколько рефлексов, свойственных объемным образцам. С уменьшением толщины слоев ($d \sim 100 \text{ нм}$) рентгенограммы содержат только небольшое количество пиков в виде «гало» вместо множества четких дифракционных рефлексов тетрагональной структуры пространственной группы *P4₃/mmt*, характерных для порошков *Nd₂Fe₁₄B*. Изучение температурных зависимостей удельной намагниченности пленок *Nd – Fe – B* на оптическом стекле в интервале температур $80 \leq T \leq 800$ градусов Кельвина пондеромоторным методом [1] показало, что величины намагниченности слоев толщиной $d \geq 1000 \text{ нм}$ сопоставимы с таковыми для порошковых образцов. Полевые зависимости удельной намагниченности пленок *Nd – Fe – B* при температурах 6 и 288 K в магнитном поле с индукцией ± 14 Тесла изучены на установке *Cryogenic*.

1. Янушкевич К.И. Методика выполнения измерений намагниченности и магнитной восприимчивости. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. МВИ. МН 3128-2009, БелГИМ, Минск, 2009.- 19с.

A-02-10C SYNTHESIS AND PROPERTIES OF Nd-Fe-B THIN LAYERS

A.K.Bogush¹, O.F.Demidenko², A.I.Galyas², G.I.Makovetskii²,
K.I.Yanushkevich²¹ RUE «Ferrit», P. Brovki str. 19, 220072, Minsk, Belarus, info@ferrit.by² SSPA "MSC of the NASB", P. Brovka Str. 19, 220072 Minsk, Belarus,
kazimir@ifttp.bas-net.by

By the flash method on the UVN -71R-2 apparatus Nd-Fe-B thin layers are synthesized. The films thicknesses are concluded in the $50 \text{ nm} \leq d \leq 1500 \text{ nm}$ interval. As the charge during films spraying are undertaken the two types powders with the grain size of $\Delta 2r \sim 0.1 - 0.3 \text{ mm}$: 1- source material $MQP-B^+$, utilized for the permanent magnets $Nd_2Fe_{14}B$ synthesis; 2 - obtained by the produced by "Ferrite" enterprise permanent magnet $Nd_2Fe_{14}B$ splitting. To avoid the adhesion of the crushed $Nd_2Fe_{14}B$ magnet grains for guaranteeing the uniform supply to the tantalum vaporizer of UVN-71R-2 apparatus they were preliminarily subjected annealing with $\sim 700^\circ\text{C}$. Magnetization with the orientation of the magnetic moment vector in the film plane is realized at room temperature in the pulse magnetic field. The Nd-Fe-B layers on the optical glass are transparent with the thicknesses of $d \leq 120 \text{ nm}$. The optical spectra study on the spectrometer Cary-500 Scan in the $200 - 3000 \text{ nm}$ wavelengths range showed that with the layer thickness of $d \sim 100 \text{ nm}$ the transmission coefficient has a value $T \sim 15\%$. The X-ray patterns analysis of relatively "thick" films ($\sim 1000 \text{ nm}$) they testify about the free iron presence in the films. With such thicknesses in the X-ray patterns has already been observed the washed away reflexes of the type "halo", which cover the angles intervals into several reflexes, characteristic for bulk samples. With the layer thickness decreasing ($d \sim 100 \text{ nm}$) the X-ray patterns contain only small quantity of peaks in the form of "halo" instead of many clear diffraction reflexes of the tetragonal structure of $P4_2/mnm$ space group, characteristic for the $Nd_2Fe_{14}B$ powders. The specific magnetization temperature dependences study of the Nd-Fe-B films on the optical glass in the temperature range of $80 \leq T \leq 800$ degrees of Calvin by ponderomotive method [1] showed that the magnetization values of the layers with a thickness of $d \geq 1000 \text{ nm}$ were compared with the same for the powder samples. The specific magnetization field dependences of Nd-Fe-B films at 6 and 288 K temperatures in the magnetic field with the induction of ± 14 of Tesla are studied on the "Cryogenic" apparatus.

1. Yanushkevich K.I. Procedure of the magnetization and magnetic susceptibility measurements carrying out. System of the guarantee of measurements unity of Republic of Belarus. MVI.MN.3128-2009, BelGIM, Minsk, 2009. – 19 p.

**A-03-01 СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И МАГНИТНЫЕ
СВОЙСТВА СПЛАВОВ ТИПА X30K15M3T**

В.С. Шубаков, Д.Г. Жуков

**Государственный технологический университет «Московский инсти-
тут стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
dgzhukov@gmail.com**

Магнитными, металлографическими и рентгеновскими методами ис-
следованы структурные превращения однофазного α – твёрдого раствора
после выдержки 1 час в интервале температур 1300-500⁰С. Результаты ис-
следований представлены в таблице.

Таблица

Фазовый состав сплава X 30K15M3T в интервале температур 1300-
500⁰С.

Температура, ⁰ С	1300- 1150	1100	1050- 1000	950- 750	700	650	600- 500
Фазовый со- став сплава	α	$\alpha+\gamma$	$\alpha+\gamma+\sigma$	$\alpha+\sigma$	$\alpha+\gamma+\sigma+\chi$	$\alpha_1+\alpha_0+\alpha_2+\gamma+\chi$	$\alpha_1+\alpha_2$

Наиболее высокий уровень магнитных свойств: $H_c=85\text{кА/м}$, $B_r=1,05\text{T}$,
(BH)_{макс}=35,3кДж/м³ на сплаве достигается, когда высококоэрцитивный
распад развивается по схеме $\alpha \rightarrow \alpha_1+\alpha_0+\alpha_2 \rightarrow \alpha_1+\alpha_2$, и в ходе его сохраняются
стержневые образования α_1 и α_2 фаз.

**A-03-01 STRUCTURAL TRANSFORMATIONS AND MAGNETIC
PROPERTIES OF Fe-30Co-15Cr-3Mo-1Ti ALLOY**

V.S. Shubakov, D.G. Zhukov

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, perminas@mail.ru**

Magnetic, metallography and x-ray methods structural transformations single-phase α – a firm solution after endurance in the range of temperatures 1300-500⁰C are investigated 1 hour. Results of researches are presented in the table.

Table. Phase structure of alloy Fe-30Co-15Cr-3Mo-1Ti in the range of temperatures 1300-500⁰C.

Temperature, ⁰ C	1300- 1150	1100	1050- 1000	950- 750	700	650	600- 500
Phase struc- ture	α	$\alpha+\gamma$	$\alpha+\gamma+\sigma$	$\alpha+\sigma$	$\alpha+\gamma+\sigma+\chi$	$\alpha_1+\alpha_0+\alpha_2+\gamma+\chi$	$\alpha_1+\alpha_2$

The highest level of magnetic properties: $H_c=85\text{kA/m}$, $B_r=1,05\text{T}$, $(BH)_{\text{max}}=35,3\text{kJ/m}^3$ on an alloy it is reached, when высококоэрцитивный disintegration develops under the scheme $\alpha \rightarrow \alpha_1+\alpha_0+\alpha_2 \rightarrow \alpha_1+\alpha_2$, and during it rod formations of α_1 and α_2 phases remain.

А-03-02 РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОЕ, ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ И МЕССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ Fe₂NiAl

В.П. Менушенков, Т.А. Свиридова, Е.В. Шелехов, А.О. Родин
Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
menushenkov@gmail.com

Сплавы Fe₂NiAl давно известны как магнитотвердые материалы с высокой коэрцитивной силой ($H_c \approx 700$ Э). Кристаллическая структура и магнитные свойства сплава Fe_{51.1}Ni_{23.5}Al_{23.7}Si₁ после закалки от 1200°C (N1) или охлаждения с критической скоростью (N2) и после дополнительного отжига при 780°C 10 min (N3) были исследованы методами электронной сканирующей и просвечивающей микроскопии, рентгеноструктурного анализа, мессбауэровской спектроскопии и магнитных измерений. Электронномикроскопические исследования выявили гетерогенную структуру, состоящую из наночастиц внутри матричной фазы. Мессбауэровские исследования при комнатной температуре указывают на сосуществование ферромагнитной и парамагнитной фаз после всех типов термообработок. Доля железных атомов в парамагнитной фазе составляла 8.5, 14 and 19.5% для образцов N1, N2 and N3, соответственно. Распределение полей сверхтонкого взаимодействия для ферромагнитной компоненты свидетельствует о разупорядоченной кристаллической структуре во всех образцах. Рентгеноструктурный анализ образца, закаленного в воде от 1200°C (коэрцитивная сила $H_c < 4$ Ое) указывает на сосуществование фазы со структурой B2 (параметр $a = 0,2877$ nm) и сильно разупорядоченной фазы со структурой L2₁ (Cu₂MnAl-типе) с величиной параметра $a \approx 2 \times 0,2874$ nm. После охлаждения с критической скоростью ($V = 2^\circ/\text{с}$) наблюдался рост коэрцитивной силы до $H_c = 650$ Э при одновременном усилении сверхструктурных рефлексов L2₁, т.е. фаза со структурой L2₁ стала более упорядоченной. Кратковременный отжиг при 780 °C 10 мин снизил H_c высококоэрцитивного образца до 320 Э. Одновременно интенсивность сверхструктурных рефлексов от L2₁ фазы стала заметно ниже, по сравнению с образцом N2.

A-03-02

**X-RAY, TEM AND MÖSSBAUER STUDIES
OF Fe₂NiAl ALLOY**

V.P. Menushenkov, T.A. Sviridova, A.O. Rodin

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, menushenkov@gmail.com**

The Fe₂NiAl based alloys are well known as hard magnetic materials with high coercive force ($H_c \approx 700$ Oe). The crystal structure and magnetic properties of Fe_{51.1}Ni_{23.5}Al_{23.7}Si₁ alloy after quenching at 1200°C (N1) or cooling with the critical rate (N2) and after subsequent aging at 780°C for 10 min (N3) were investigated by scanning (SEM) and transmission (TEM) electron microscopy, X-ray diffraction, Mössbauer effect and magnetostatic methods. TEM investigation demonstrated heterogeneous microstructure consisted of nanoparticles inside matrix. The room temperature Mössbauer study showed the coexistence of ferromagnetic and paramagnetic phases in all heat-treated samples. The fraction of iron atoms in paramagnetic phase was equal to 8.5, 14 and 19.5% in the samples N1, N2 and N3, respectively. The hyperfine field distribution of the ferromagnetic compounds indicated atomic disorder of the crystal structure in all samples. X-ray structural analysis after quenching in water at 1200°C (coercive force $H_c < 4$ Oe) showed the coexistence of B2 phase (lattice parameter $a = 0,2877$ nm) and strongly disordered L2₁ (Cu₂MnAl-type) phase with lattice parameter $a \approx 2 \times 0,2874$ nm. After cooling with the critical rate ($V = 2^\circ/\text{c}$) the coercive force grew up to $H_c = 650$ Oe along with the increase of L2₁ superstructure reflections intensity, i.e. the L2₁ phase became much more ordered. Short aging at 780 °C for 10 min reduced H_c of high-coercivity sample to 320 Oe. At the same time the intensity of superstructure reflections of L2₁ phase got noticeably lower in comparison with sample N2.

A-03-03

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНОГО СОСТОЯНИЯ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВАХ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ Fe-Cr-Co-Mo

Малинина Р.И., Ушакова О.А., Полев И.Е., Фрадкин С.В.
Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4, taksatilda@yandex.ru

В сплавах для постоянных магнитов на основе Fe-Cr-Co процесс формирования высококоэрцитивного состояния связан с распадом α -твердого раствора на две изоморфные фазы в ходе ТМО и старения.

Для получения материала с высоким уровнем магнитных свойств в результате распада α -фазы необходимо выполнение следующих условий:

1. Ферромагнитные частицы α_1 должны иметь форму эллипсоида с отношением осей 10:1, быть однодоменными и изолированными одна от другой прослойкой слабомагнитной фазы α_2 ;

2. Частицы α_1 должны быть ориентированы длинными осями в одном направлении;

3. Разница в величине намагниченностей насыщения, а, значит, и в составах фаз α_1 и α_2 , должна быть велика.

Проведенные ранее исследования показали, что магнитные свойства сплавов на основе Fe-Cr-Co-Mo чувствительны к условиям ТМО и старения.

В данной работе изучали процесс формирования высококоэрцитивного состояния в холоднокатаных сплавах, содержащих от 28 до 30%Cr, 12-15%Co, 2-5%Mo, 0.2%Ti, остальное - Fe.

Подробно исследовано изменение магнитных свойств в ходе ТМО в поле

3 кЭ при температурах 625-650⁰С и старения, проводимого в интервале 605-540⁰С. Проведенное сопоставление гистерезисных свойств на каждом этапе обработки позволило высказать предположение о формировании структуры и изменении состава фаз-продуктов распада.

Выполнен теоретический расчет величины коэрцитивной силы и намагниченности насыщения.

Даны рекомендации по режимам ТМО и старения, позволяющим получить более высокий уровень гистерезисных свойств по сравнению с использованием традиционной схемы обработки.

A-03-03 SPECIFICITIES OF HIGH COERCIVE STATE FORMATION IN NANOCRYSTALLINE ALLOYS FOR PERMANENT MAGNETS Fe-Cr-Co-Mo

R.I. Malinina, O.A. Ushakova, I. Polev, S. Fradkin
State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4,
taksatilda@yandex.ru

The process of high coercive state formation in alloys for permanent magnets on the base of Fe-Cr-Co is connected with decay of α -solid solution during TMT and magnetic hardening.

It's necessary to carry out following conditions to have a material with high level of magnetic properties as a result of α -phase decay:

1. α_1 ferromagnetic particles should have the ellipsoid form with the ratio of axes 10:1; to be one-domain and isolated one from other layer of a low-magnetic phase α_2 ;

2. α_1 particles should be elongated in one direction;

3. Difference in I_s and therefore in composition of α_1 and α_2 phases should be considerable.

Researches carried out before have shown that magnetic properties of alloys on the base of Fe-Cr-Co-Mo are sensitive to conditions of TMT and magnetic hardening. In the present work formation of high coercive state in cold-rolled alloys containing from 28 to 30%Cr, 12-15%Co, 2-5%Mo, 0.2%Ti and Fe were studied.

Changes of magnetic properties during the TMT in the field 3kOe at temperatures 625-650⁰C and the step annealing in an interval 605-540⁰C were investigated in every details.

The comparison of hysteresis properties at each stage of processing makes it possible to express authors opinion about formation of structure and changes of phases composition.

Theoretical estimate of H_c and I_s was carried out.

Recommendations about TMT and magnetic hardening conditions for higher level of hysteresis properties in comparison with traditional scheme of processing were given.

A-03-04

**ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОСТОЯННЫХ
МАГНИТОВ НА ОСНОВЕ НАНОПОРОШКОВ**

С.В.Михайлин

**ОАО «Центральный научно-исследовательский технологический
институт «ТЕХНОМАШ», Россия, 121108, Москва,
ул. Ивана Франко, 4, cniti-sm@yandex.ru**

Общепризнано, что 21 век – век применения нанотехнологий в промышленности. Однако главная роль в эффективности применения нанотехнологий отводится функциональным материалам и изделиям на их основе. Особая роль в совершенствовании функциональных материалов отводится магнитным наноматериалам. Магнитные материалы в 21 веке будут определять развитие приборов информационной техники, электронного приборостроения, энергосберегающих технологий, развитие экологически чистых видов транспорта, а также новейших приборов бытовой техники.

Дальнейший прогресс в совершенствовании магнитных материалов должен базироваться на новейших исследованиях в области получения материалов на основе нанотехнологий.

Наиболее перспективными, с нашей точки зрения, материалами для производства постоянных магнитов являются композиционные материалы, полученные на основе ферромагнитного наполнителя и полимерной матрицы.

Основной трудностью в создании данного класса материалов является проблема получения нанопорошка магнитного наполнителя.

Композиционные нанопорошковые магниты получают на основе высокодисперсных порошков железа или железо-кобальт с немагнитной полимерной связкой [1].

Основными причинами, препятствующими широкому применению постоянных магнитов на основе нанопорошков ферромагнетиков, являются трудности по созданию технологии производства материалов для постоянных магнитов с повышенными свойствами и создание промышленной технологии их производства.

[1] Российский патент №1769625A1, кл. H01F/06. (1993)

A-03-04 RECEPTION OF MATERIALS FOR PERMANENT MAGNETS ON THE BASIS OF NANO – SIZE POWDERS

S.V. Mihajlin

Open Joint-Stock Company "Central Scientific Research Institute of Technology" Technomash “, Russia, 121108, Moscow, 4, Ivan Franko's street, cniti-sm@yandex.ru

It is conventional, that 21 centuries - a century of application nanotechnology in the industry. However the leading role in efficiency of application nanotechnology is taken away to functional materials and products on their basis. The special role in perfection of functional materials is taken away magnetic on the basis of nano-sized powders. Magnetic materials in 21 century will define development of the devices of technical information, the electronic devices, the energy saver technologies, the development of ecologically pure types of transport and also the newer devices of home appliances.

The further progress in perfection of magnetic materials should be based on the newest researches in the field of reception of materials on a basis nanotechnology.

The most perspective, from our point of view, materials for manufacture of constant magnets are the composite materials received on the basis of ferromagnetic filler and a polymeric matrix.

The composite nano – size powder magnets receive on a basic nano – size powders of iron or ferrous-cobalt with not magnetic polymeric sheaf [1].

The literature

- [1] The Russian patent №1769625A1. H01F/06. (1993).

**А-03-05 ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ
Порошков СТРОНЦИЕВОГО ФЕРРИТА С НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ**

С.В. Кетов, В.П. Менушенков, Ю.Д. Ягодкин

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
Ketov.Sergey@gmail.com**

Методами рентгеноструктурного анализа, высокоразрешающей растровой электронной микроскопии, а также посредством измерения магнитных свойств на вибромагнетометре при комнатной температуре проведены исследования фазового состава, размера нанокристаллитов, величины микродеформации решетки фаз и выполнен анализ влияния структурных характеристик на магнитные свойства порошка $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ после измельчения и последующих отжигов.

Показано, что измельчение крупнокристаллического порошка $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ в мельнице САНД-1 позволяет получить в кристаллическом состоянии порошок стронциевого гексаферрита с размером частиц $d \sim 0,1-1$ мкм, характеризующийся малыми размерами областей когерентного рассеяния и высоким уровнем микродеформации решетки. При этом выявлено, что измельченный порошок склонен к текстурованию при наложении внешнего магнитного поля. Однако такой порошок имеет невысокую коэрцитивную силу ($\mu_0 H_{ci} \approx 0,15$ Тл).

Высокотемпературный отжиг измельченного порошка приводит к увеличению коэрцитивной силы до 0,42 - 0,45 Тл, что обусловлено формированием нанокристаллической структуры с низким уровнем микродеформации решетки. Такая структура образуется за счет рекристаллизации деформированных при измельчении кристаллитов $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Полученные при такой обработке порошки не склонны к текстурованию в магнитном поле из-за формирования в частицах порошка хаотически ориентированных нанокристаллитов гексаферрита стронция.

Предложен способ получения анизотропных порошков стронциевого феррита с нанокристаллической структурой. Данный способ предусматривает ступенчатый отжиг измельченного порошка, низкотемпературная ступень которого проводится в магнитном поле. В результате был получен нанокристаллический порошок гексаферрита стронция с коэрцитивной силой 0,40 - 0,42 Тл, причем частицы порошка склонны к текстурованию в магнитном поле, что позволило заметно увеличить остаточную индукцию (в 1,4 раза) и магнитное произведение (в 2,1 раз) по сравнению с исходным порошком.

**A-03-05 FORMATION AND INVESTIGATION OF STRONTIUM
FERRITE ANISOTROPIC POWDER WITH NANOCRYSTALLINE
STRUCTURE**

S.V.Ketov, V.P.Menushenkov, Yu.D.Yagodkin

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, Ketov.Sergey@gmail.com**

Investigations of phase composition, nanocrystallite size, lattice microstrain and particles morphology in SrFe₁₂O₁₉ powder after milling and following annealing was carried out by X-ray diffraction analysis and high resolution scanning electron microscopy. The powder magnetic properties were measured in a vibrating sample magnetometer at room temperature. The influence of structural characteristics on the magnetic properties of the powder was analyzed.

The investigations showed that milling in SAND-1 mill led to formation of powder particles with size of $d \sim 0,1-1 \mu\text{m}$, which were characterized by high lattice microstrains. The milled powder had a low coercive force $\mu_0 H_{ci} \approx 0,15 \text{ T}$.

The high temperature annealing of the preliminarily milled powder resulted in increase of the powder coercive force ($\mu_0 H_{ci}$) up to 0.4 T due to formation of nanocrystalline structure ($D \sim 10^2 \text{ nm}$) with low microstrains in the SrFe₁₂O₁₉ lattice. The same structure was formed as a result of recrystallization of distorted SrFe₁₂O₁₉ crystallites. However, the annealed powder is not textured in magnetic field because of chaotic orientation of the nanocrystallites in a powder particle.

The processing technique was suggested which included low temperature annealing in the presence of magnetic field. It allowed to produce anisotropic powder of a strontium ferrite with nanocrystalline structure that provided the high coercive force of the powder (of about 0.4 T) and the possibility of powder texturing in magnetic field. The latter permitted to increase both the powder remanence (by a factor of 1,4) and the energy product (by a factor of 2,1) in comparison with isotropic SrFe₁₂O₁₉ powder.

А-03-06 ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАГНИТОТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Fe_3O_4

Е.С. Шандровская, Т.В. Дятлова, Ю.Д. Ягодкин

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
katy_br_ha@mail.ru**

Известно, что нанокристаллические магнитотвердые сплавы системы Fe-O, содержащие кристаллиты Fe_3O_4 и $\alpha\text{-Fe}$ могут быть получены механохимической обработкой в высокоэнергетической шаровой мельнице смеси порошков Fe и Fe_2O_3 и последующим отжигом. Однако содержание Fe_3O_4 в этих сплавах ограничено 80 об. %. В тоже время известно, что порошок нанокристаллического Fe_3O_4 может иметь достаточно высокую коэрцитивную силу. Целью данной работы было разработать способ получения порошка нанокристаллического сплава системы Fe-O, практически состоящего из Fe_3O_4 (содержащего более 95 об.% этой фазы).

Для решения этого вопроса в качестве исходного состояния был взят порошок оксида железа FeO. Порошок обрабатывался в высокоэнергетической шаровой мельнице типа АГО-2У. Время обработки варьировалось от 1 до 3 часов. При обработке в мельнице порошка FeO протекают твердофазные реакции, ведущие к образованию нанокристаллического сплава, содержащего $\alpha\text{-Fe}$ и FeO (со средним размером кристаллитов 10-20 нм), а также аморфную фазу. Процесс измельчения вел к увеличению коэрцитивной силы, причем после трехчасовой обработки коэрцитивная сила составляла около 500 Э. В дальнейшем измельченные порошки подвергались низкотемпературному отжигу - на воздухе или в вакууме. При всех отжигах шел распад метастабильной немагнитной фазы FeO и аморфной фазы на две магнитные фазы $\alpha\text{-Fe}$ и Fe_3O_4 (со средним размером кристаллитов 35 - 40 нм). После вакуумного отжига содержание магнетита составляет около 95 об.%. После отжига на воздухе образовался, кроме железа и магнетита, в небольшом количестве еще и Fe_2O_3 . Однако содержание магнетита все же превышало 90 об. %.

A-03-06 PREPARATION AND INVESTIGATION OF HARD MAGNETIC NANOCRYSTALLINE ALLOYS ON THE BASIS OF Fe_3O_4

E.S.Shandrovskaia, T.V.Djatlova, Yu.D.Yagodkin
State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, katy_br_ha@mail.ru

It is known that nanocrystalline hard magnetic Fe-O alloys, containing Fe_3O_4 and α -Fe crystallites, could be produced by mechanochemical treatment in a high-energy ball mill of Fe and Fe_2O_3 powder mixtures and subsequent annealing. However, contents of Fe_3O_4 in these alloys has been limited by 80 vol. %. At the same time, it is known that powder of nanocrystalline Fe_3O_4 may have a high coercivity. The goal of the present work was to develop a method for obtaining of nanocrystalline alloy powder of Fe-O system, consisting of practically only Fe_3O_4 (containing over 90 vol.% of this phase).

For the decision of this question, as the starting materials was taken a powder of FeO oxide. The high-energy milling was carried out in AGO-2U planetary ball mill. The milling time was varied from 1 up to 3 h. In processing in the mill powder FeO solid-phase reactions occur, leading to formation of nanocrystalline alloy, containing α -Fe and FeO (with an average crystallite size 10-20 nm) and also an amorphous phase. Milling process led to increase in coercive force, and it after three-hour processing was about 500 Oe. After milling powders were exposed to low-temperature annealing - in air or in a vacuum. At the annealing there was a dissociation of the non-magnetic FeO and the low-magnetic amorphous phase into two magnetic phases of α -Fe, and Fe_3O_4 (with an average crystallite size of 35 - 40 nm). After vacuum annealing the content of magnetite is about 95 vol.%. After annealing on air small amount also Fe_2O_3 was formed along with α -Fe and magnetite. However, the content of magnetite is still greater than about 90 %.

А-03-07

ВЫСКОКОЭРЦИТИВНЫЕ ПЛЁНКИ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ НАНОМЕТРОВЫХ ТОЛЩИН

М.В.Логунов, М.В.Герасимов, А.В.Голубьев, П.М.Мальшев
Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва,
Россия, 430005, Саранск, ул. Большевикская, 68, logunov@mrsu.ru

Поликристаллические плёнки ферритов со структурой граната благодаря уникальному сочетанию свойств представляют интерес в качестве основы для магнитофотонных и магнитооптических устройств [1, 2].

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования процессов перемагничивания однослойных и многослойных (с толщиной слоев ~ 50 нм) висмут-содержащих пленок ферритов-гранатов. Размеры кристаллитов гранатовой фазы составляли 50-100 нм. Благодаря значительному замещению ионов железа парамагнитными ионами (около 1 формульной единицы) и наличию в додекаэдрической подрешетке редкоземельных ионов пленки имели температуру компенсации магнитного момента $T_{\text{СММ}}$, близкую к комнатной температуре.

Для всестороннего исследования процессов перемагничивания с помощью эффекта Фарадея одновременно с регистрацией петли гистерезиса наблюдали доменную структуру пленок, для чего часть магнитооптического сигнала подавали на видеокамеру. Показано, что коэрцитивная сила H_c для поликристаллических плёнок ферритов-гранатов нанометровых толщин может достигать рекордной величины $H_c \sim 3$ кЭ вблизи температуры компенсации магнитного момента $T_{\text{СММ}}$.

Форма петель гистерезиса поликристаллических плёнок вблизи $T_{\text{СММ}}$ является сложной, что свидетельствует о наличии нескольких магнитных фаз в исследуемых материалах. С помощью мессбауэровской спектроскопии выявлена взаимосвязь между соотношением ферримагнитной/парамагнитной фаз и величиной коэрцитивной силы плёнки H_c .

- [1] T.Körner, A.Heinrich, M.Weckerle, et al. Appl. Phys. 103 (2008) 07B337
[2] B.Vertruyen, R.Cloots, J.S.Abell, et al. Phys. Rev. B 78 (2008) 094429

A-03-07

**HIGH COERCIVITY FERRITE-GARNET FILMS
WITH NANOMETER THICKNESS**

M.V.Logunov, M.V.Gerasimjv, A.V.Golub'ev, and P.M.Malyshev
Mordovia state university, Russia, 430005, Saransk, Bolshevistskaya st., 68,
logunov@mrsu.ru

Polycrystalline ferrite films with garnet structure due to a unique combination of properties are of interest as a basis for magneto-photonic and magneto-optical devices [1, 2].

In this work results of an experimental study of processes of magnetic reversal single-layered and multilayered (with thickness of layers ~ 50 nm) bismuth-containing garnet films are presented. The sizes of garnet phase crystallites were 50-100 nm. Due to significant replacement of Fe ions by paramagnetic ions (about 1 formulaic unit) and to presence in dodecahedral sublattice rare-earth ions the films had temperature of compensation of magnetic moment T_{CMM} , close to a room temperature.

For comprehensive investigation of processes of magnetic reversal by means of Faraday effect simultaneously with registration of a hysteresis loop we observed domain structure of the film by submitting a part of magneto-optical signal on a video camera. It is shown that coercive force H_c for polycrystalline ferrite-garnet films of nanometer thickness can reach record size $H_c \sim 3$ kOe near to temperature of compensation of magnetic moment T_{CMM} .

The form of hysteresis loops of polycrystalline films close T_{CMM} is complex, that testifies to presence of several magnetic phases in investigated materials. By means of Mössbauer spectroscopy the correlation between a ration of ferromagnetic/paramagnetic phases and coercive force value of the film H_c is revealed.

- [1] T.Korner, A.Heinrich, M.Weckerle, et al. Appl. Phys. 103 (2008) 07B337
[2] B.Vertruyen, R.Cloots, J.S.Abell, et al. Phys. Rev. B 78 (2008) 094429

**ТЕРМОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА И МАГНИТНЫЕ
А-03-08С СВОЙСТВА СПЛАВОВ
Fe-30 %Cr-15 %Co-(1-5) %Mo-0,5 %Ti**

**Перминов А.С., Малинина Р.И., Чередниченко И.В., Шубаков В.С.,
Жуков Д.Г.**

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
perminas@mail.ru**

В работе исследовано влияние температуры изотермической термомагнитной обработки (ИТМО) сплавов Х30К15М(1-5)Т в области температур 650-605 °С на магнитные свойства после окончательной обработки, указанной в работе [1].

Магнитные свойства: коэрцитивную силу (H_c) и остаточную индукцию (B_r), – измеряли вдоль и поперек направления приложения поля ИТМО после окончательной обработки. По разности значений H_c и B_r , измеренных вдоль и поперек направления приложения магнитного поля ИТМО, установлена область анизотропного влияния ИТМО на магнитные свойства сплавов (интервал эффективного влияния магнитного поля). С увеличением содержания молибдена температурный интервал эффективного влияния магнитного поля на магнитные свойства снижается. При этом также уменьшается величина анизотропного эффекта ИТМО.

Определены оптимальные температуры ИТМО для сплавов системы Fe-Cr-Co с 1-5 %Mo. Они составляют 635 °С для сплавов с 1-3 %Mo и 625 °С для сплавов с 4-5 %Mo.

Максимальные магнитные свойства достигнуты на сплавах с 2 %Mo (литых, кристаллически изотропных): $\mu_0 I_r (B_r) - 1,15$ Тл; $i H_c - 71,6$ кА/м; $v H_c - 58,8$ кА/м; $(BH)_{max} - 24,0$ кДж/м³. С повышением содержания молибдена от 1 до 2 %Mo магнитные свойства при указанном режиме термообработки возрастают, далее, при увеличении содержания Mo – оснижаются.

После ИТМО 650-605 °С также проводили термомагнитный анализ. С повышением содержания молибдена снижаются температуры Кюри α -твердого раствора и α_2 -фазы (после первой ступени обработки в магнитном поле).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с повышением содержания молибдена увеличивается роль упругой энергии сплавов в формировании структуры высококоэрцитивного распада.

[1] И.В. Чередниченко, В.С. Шубаков, Р.И. Малинина, А.С. Перминов. Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2009, №1, с. 39-42.

A-03-08C THERMAL MAGNETIC TREATMENT AND MAGNETIC PROPERTIES OF Fe-30 %Cr-15 %Co-(1-5) %Mo-0,5 %Ti ALLOYS

**A.S. Perminov, R.I. Malinina, I.V. Cherednichenko,
V.S. Shubakov, D.G. Zhukov**

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, perminas@mail.ru**

The influence of Fe-Cr-Co-Mo-Ti alloys' isothermal magnetic treatment (ITMT) in 650-605 °C region on magnetic properties after final treatment that was specified in [1] has been investigated.

The magnetic properties, such as coercive force (H_c) and residual magnetization (induction) (B_r), have been measured after the final heat treatment, along and across the direction of ITMT's magnetic field. The region of anisotropic ITMT influence on alloys' magnetic properties (the region of effective magnetic field influence) by means of difference in H_c and B_r values measured along and across the ITMT magnetic field direction was established. The thermal region of effective magnetic field influence on magnetic properties go down with decreasing of content the Mo. The rate of anisotropic ITMT effect go down also.

Optimum ITMT temperatures for Fe-Cr-Co alloys with 1-5 %Mo are defined. It equals to 635 °C for alloys with 1-3 %Mo and equals to 625 °C for alloys with 4-5 %Mo.

The best magnetic properties have been reached on alloys with 2 %Mo (cast, isotropic) and equals to: $\mu_0 I_r$ (B_r) – 1,15 T; iH_c – 71,6 kA/m; BH_c – 58,8 kA/m; $(BH)_{max}$ – 24,0 kJ/m³. With increasing of Mo content from 1 % up to 2 % the magnetic properties have risen after the specified treatment and have decreased at further increasing the Mo content.

The thermal magnetic analysis after the ITMT has been made. With increasing of Mo content the Curie' points of α -phase and α_2 -phase are lowering (after first stage of treatment in magnetic field).

The received results allow to draw a conclusion that with increase the content of Mo the role of elastic energy of alloys in structure formation through the hardening disintegration increases.

[1] И.В. Чередниченко, В.С. Шубаков, Р.И. Малинина, А.С. Перминов. Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2009, №1, с. 39-42.

A-03-09C МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПАДА В СПЛАВЕ Fe-Cr-Co

**А.С. Перминов, С.О. Масленников, А.С. Лилеев, Д.Г. Жуков,
Е.А. Шуваева, В.Л. Столяров, В.Ю. Введенский, Е.С. Малютин**
Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
perminas@mail.ru

В настоящей работе моделировался распад метастабильного переохлажденного высокотемпературного α -твердого раствора с образованием изоморфных α_1 и α_2 -фаз в сплаве Fe-31 %Cr-23 %Co.

В основу модели заложен эволюционный метод Монте-Карло с критерием Метрополиса. Рассматривается модель решеточного газа (случайные блуждания), подвижность атомов которого обеспечивается обменом местами атомов с вакансиями. Рассчитывается вероятность обмена местами атомов и вакансий в пределах ближайших соседей. При расчете вероятности в качестве критерия Метрополиса рассматривался энергетический стимул ΔU , учитывающий энергии связей пар атом-атом и атом-вакансия и взаимное расположение атомов и вакансий. Данные об атомной структуре α -твердого раствора взяты из экспериментальных данных. Для расчета парных потенциалов использовался пакет Material Studio 3.2, выбор которого обоснован результатами моделирования сплава Fe-50%Cr [1].

В результате моделирования получены нанокристаллические структуры, которые были сравнены с полученными в работе [2] данными электронной микроскопии. Сопоставлено с экспериментальными данными влияние температуры распада на размер нанокристаллических выделений, распределение компонентов в продуктах распада.

[1] Моделирование спинодального распада в сплаве Fe-50%Cr. /А.С. Перминов, С.О. Масленников, А.С. Лилеев и др. //XXI Международная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах», Москва, 28 июня – 4 июля 2009 г.

[2] Masuo O., Gareth T., Motofumi H. Microstructure and Magnetic Properties of Fe-Cr-Co. //IEEE Trans. on Magnetics – 1978 – V. MAG-14 – №. 14 – P. 245-252.

Работа выполнена в рамках проекта 2.1.2/4326 «Исследование и моделирование процессов перемагничивания высококоэрцитивных сплавов для постоянных магнитов» АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)»

A-03-09C DISINTEGRATION MODELLING IN ALLOY Fe-Cr-Co

**A.S. Perminov, S.O. Maslennikov, A.S. Lileev, D.G. hukov, E.A. Shuvaeva,
V.L. Stolyarov, V.Yu. Vvedenskiy, E.S. Malyutina**
**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, perminas@mail.ru**

In the present work disintegration of the metastable overcooled high-temperature α -firm solution with formation isomorphic α_1 and α_2 -phases in alloy Fe-31 %Cr-23 %Co was modeled.

In a model basis the evolutionary method of Monte-Carlo with criterion of the Metropolis is put. The lattice gas model (casual wanderings) which mobility of atoms is provided with an exchange of places of atoms with vacancies is considered. The probability of an exchange of places of atoms and vacancies within the nearest neighbours pays off. At calculation of probability as criterion of the Metropolis the power stimulus ΔU , considering communication energy of pairs atom-atom and atom-vacancy and a relative positioning of atoms and vacancies was considered. Data about nuclear structure of a α -firm solution is taken from experimental data. For calculation of pair potentials package Material Studio 3.2 which choice is proved by results of modelling of alloy Fe-50%Cr [1] was used.

As a result of modelling are received nanocrystalline structures which have been compared to [2] data of electronic microscopy received in work. Influence of temperature of disintegration on the size nanocrystalline particles, distribution of components in disintegration products is compared with experimental data.

[1] Моделирование спинодального распада в сплаве Fe-50%Cr. /А.С. Перминов, С.О. Масленников, А.С. Лилеев и др. //XXI Международная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах», Москва, 28 июня – 4 июля 2009 г.

[2] Masuo O., Gareth T., Motofumi H. Microstructure and Magnetic Properties of Fe-Cr-Co. //IEEE Trans. on Magnetics – 1978 – V. MAG-14 – №. 14 – P. 245-252.

Work is executed within the limits of the project 2.1.2/4326 "Research and modelling of processes of magnetic reversal high-coercive alloys for constant magnets" ATDP "Development of scientific potential of the higher school (2009-2010)»

Секция В
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Section B
**PHYSICAL FUNDAMENTALS OF PERMANENT MAGNET
MANUFACTURING**

В-01-01

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ NdFeB с (ВН) max до 360 кДж/м³ (45 МГс·Э)

**В.В. Котунов, П.В. Чернов, Ю.Г. Путилов
ООО "ЭРГА", 248018, Россия, г. Калуга, ул. Хрустальная, 22**

Освоена линия производства постоянных магнитов NdFeB, которая позволяет выпускать продукцию свыше 100 тонн в год.

В состав технологической схемы входит:

- 1) Индукционная печь
- 2) Дробилка, (до 10мм)
- 3) Установка среднего размола в инертной среде, (100 ÷ 500 мкм)
- 4) Струйная мельница тонкого размола в инертной среде, (3 ÷ 7 мкм)
- 5) Пресс-полуавтомат в инертной среде, (до 100 кг/час)
- 6) Вакуумная печь спекания (загрузка до 200кг.)

Использование современного оборудования, оптимизация химического состава сплавов, безокислительная технология, подбор режимов термообработок привели к следующим результатам (ТУ3498-001-10856794-2008):

Остаточная индукция Вг		Коэрцитивная сила по намагниченности		Коэрцитивная сила по индукции		(ВН) max	
		j Hс		ВHс			
Тл	кГс	кАм	кЭ	кАм	кЭ	кДж/м ³	МГс·Э
1,33-1,37	13,3-13,7	1114	14	836-1027	10,5-12,7	342-366	43-46
1,28-1,32	12,8-13,2	1353	17	923-955	11,6-12,0	318-334	40-42
1,24-1,3	12,4-13	1592	20	939-950	11,8-12,0	302-312	38-39
1,22-1,24	12,2-12,4	1990	25	876-899	11,2-11,8	287-302	36-38

Результатами испытаний показано, что данная технологическая схема позволяет получать постоянные магниты NdFeB с высокими характеристиками.

**INDUSTRIAL USE OF TECHNOLOGICAL PRODUCTION
B-01-01 LINES OF HIGH ENERGY CONSTANT MAGNETS NdFeB
c (BH) max to 360 kWatt-second/m3 (45 milli gaus Oesterd)**

**V.V. Kotunov, P.V. Chernov, Yu.G. Putilov
LLC «Erga», 248018, Russia, Kaluga, Khrustalnaya str., 22**

The line producing constant magnets NdFeB was put in production. It allows to produce over 100 tons a year.

The technological line includes:

- 1) Induction furnace
- 2) Crusher (up to 10 mm)
- 3) Installation for average size grinding in inert media (100±500 micrometer)
- 4) Air-stream mill for fine grinding in inert media (3 ±7 micrometer)
- 5) Semi automatic press in inert media (up to 100 kg/hour)
- 6) Vacuum baking furnace (load – up to 200 kg).

Use of modern equipment, optimization of chemical structure of alloys, non-corrosive technology, selection of thermal treatment modes allowed to receive the following results (TY3498-001-10856794-2008):

Residual magnetic induction		Coercion force of magnetizing		Coercion force by induction		(BH) max	
		jHc		BHc			
Tesla	kGf	kAmper-meter	k Oersted	kAmper-meter	k Oersted	kWatt-second/m3	Milli Gauss Oersted
1.33-1.37	13.3-13.7	1114	14	836-1027	10.5-12.7	342-366	43-46
1.28-1.32	12.8-13.2	1353	17	11.6-12.0	11.6-12.0	318-334	40-42
1.24-1.3	12.4-13	1592	20	11.8-12.0	11.8-12.0	302-312	38-39
1.22-1.24	12.2-12.4	1990	25	11.2-11.8	11.2-11.8	287-302	36-38

By the results of the tests we confirmed that this technological scheme allowed to produce the constant magnets NdFeB with high characteristics.

В-01-02 **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЧЕННЫХ СПЛАВОВ Nd-Fe-B, ПЕРЕРАБОТАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ**

**С.А.Мельников¹, В.П.Пискорский², Р.А.Валеев², С.И.Иванов³,
О.Г.Оспенникова², А.П.Паршин¹, В.В.Шаталов**

¹ ОАО «ВНИИ химической технологии, 115409, Москва, Каширское ш., д. 33, melnikov_sa@mail.ru

² ФГУП «ВИАМ», 107005, Москва, ул. Радио, д. 17

³ ОАО «ВНИИ неорганических материалов», 123098, г Москва, ул. Рогова, д. 5

В результате анализа основных технологических операций получения спеченных сплавов системы Nd-Fe-B было установлено, что в процессе передела может возникать два вида отходов. Переработка окисленных отходов (первый тип отходов) возможна только с помощью методов гидрометаллургии. Второй тип отходов представляет собой отходы со значительным содержанием металлической составляющей, которая может подвергаться водородному диспергированию. Данная работа посвящена разработке технологии получения спеченных магнитов, полученных из бракованных спеченных магнитов Nd-Fe-B после проведения водородной обработки в укрупненном масштабе и использования различных добавок.

В работе были использованы отходы спеченного сплава (Б) следующего состава $(Nd_{0,97} Dy_{0,03})_{15,5} (Fe_{0,98} Co_{0,02})_{ост.} Ti_{0,58} Al_{0,90} B_{7,66}$. В качестве добавок добавляемых при тонком помоле использованы следующие: 1- $(Nd_{0,80} Dy_{0,20})_{17,7} (Fe_{0,97} Co_{0,03})_{ост.} Ti_{1,2} Al_{1,1} B_{7,0}$, 2- $(Nd_{0,97} Dy_{0,03})_{19,9} (Fe_{0,92} Co_{0,08})_{ост.} Ti_{1,6} B_{7,5}$, 3- $DyCo_2$, 4- Dy-B, 5- $Nd_3 Fe$. Отходы сплава (Б) были прогидрированы при температуре 250°C. Спеченные магниты, изготовленные из порошка сплава (Б) имели низкие магнитные свойства: $B_r < 0,3$ Тл, $H_{C1} < 200$ кА/м. Для повышения свойств спеченных сплавов добавки 1 и 2 добавляли в количестве 30 %, добавки 3-5 в количестве до 10 %. Пластичную добавку 5 перед использованием подвергали водородному охрупчиванию. Наиболее эффективным оказалось использование одновременно двух добавок. Оказалось, что оптимальная температура спекания и режим термообработки зависят от вида используемой добавки. Использование добавки 1 не позволяет исправлять брак.

Ниже приведены свойства исправленных магнитов, полученные после спекание при оптимальной температуре и оптимальных термообработок (низкотемпературной (НТО, 530 °С в течение 1 часа), либо высокотемпературной (ВТО, 1000 °С в течение 1 часа)): Б+30% добавки 2 (ВТО)- $B_r=1,15$ Тл, $H_{C1}=816$ кА/м; Б+10% добавки 5 (ВТО)- $B_r=1,02$ Тл, $H_{C1}=936$ кА/м; Б+10% добавки 5+3% добавки 3 (НТО)- $B_r=1,08$ Тл, $H_{C1}=1472$ кА/м; Б+10% добавки 5+3% добавки 4 (НТО)- $B_r=1,12$ Тл $H_{C1}=1360$ кА/м.

B-01-02 INVESTIGATION OF AN OPPORTUNITY OF MANUFACTURING SINTERED MAGNETS FROM WASTE PRODUCTS SINTERED OF ALLOYS ND-FE-B TREATED WITH USE OF HYDROGEN PROCESSING

S.A.Melnikov¹, V.P. Piskorsky², P.A. Valeev², S.I. Ivanov³,
O.G. Ospennikova², A.P.Parshin¹, V.V. Shatalov¹.

¹ Joint-Stock Co "LRICT", 33, Kashirskoye shosse, Moscow, 115409, Russia, melnikov_sa@mail.ru

² Federal State Unitary Enterprise "VIAM", 17, Radio street, Moscow, 107005, Russia

³ Joint-Stock Co "VNIINM", 5, Rogova street, Moscow, 123098, Russia

As a result of the analysis of the basic technological operations of obtaining sintered alloys of system Nd-Fe-B seted, that in treatment there can be two views of a wastage. The treatment of an oxidated wastage (first type of a wastage) is possible only with the help of methods of hydrometallurgy. The second type of a wastage represents a wastage with the considerable content of a metal component which can be exposed to hydrogen dispergation. The sectional work is devoted to development technology of obtaining sintering magnets from defective sintered magnets Nd-Fe-B after carrying out of hydrogen processing in integrated gauge and use of the various additives.

In work was used the wastage of sintering alloy (B) of the following composition $(\text{Nd}_{0,97} \text{Dy}_{0,03})_{15,5} (\text{Fe}_{0,98} \text{Co}_{0,02})_{\text{oct.}}$ $\text{Ti}_{0,58} \text{Al}_{0,90} \text{B}_{7,66}$. As the additives added at fine grinding the following was used: 1- $(\text{Nd}_{0,80} \text{Dy}_{0,20})_{17,7} (\text{Fe}_{0,97} \text{Co}_{0,03})_{\text{oct.}}$ $\text{Ti}_{1,2} \text{Al}_{1,1} \text{B}_{7,0}$, 2- $(\text{Nd}_{0,97} \text{Dy}_{0,03})_{19,9} (\text{Fe}_{0,92} \text{Co}_{0,08})_{\text{oct.}}$ $\text{Ti}_{1,6} \text{B}_{7,5}$, 3- DyCo_2 , 4- Dy-B, 5- $\text{Nd}_3 \text{Fe}$. The wastage of an alloy (B) was hydrogenation at temperature 250°C. Sintering magnets made from a powder of an alloy (B) had the low magnetic properties: $B_r < 0,3 \text{ T}$, $H_{ci} < 200 \text{ kA/m}$. For increasing of properties sintered alloys of the additive 1 and 2 added in quantity 30 %, additive 3-5 in quantity up to 10 %. Plastic additive 5 before use subjected hydrogenation. Most effective has appeared use simultaneously of two additives. Has appeared, that optimum temperature of a sintering and mode of heat treatment depend on a view of the used additive. Use of the additive 1 does not allow to correct wastage.

The properties of rectified magnets obtained after sintering at optimum temperature and optimum heat treatments (low-temperature (LTT, 530 °C during 1 hour), or high-temperature (HTT, 1000 °C during 1 hour)): B+30 % of the additive 2 (HTT) - $B_r = 1,15 \text{ T}$, $H_{ci} = 816 \text{ kA/m}$; B+10 % of the additive 5 (HTT) - $B_r = 1,02 \text{ T}$, $H_{ci} = 936 \text{ kA/m}$; B+10 % of the additive 5+3 % of the additive 3 (LTT) - $B_r = 1,08 \text{ T}$, $H_{ci} = 1472 \text{ kA/m}$; B+10 % of the additive 5+3 % of the additive 4 (LTT) - $B_r = 1,12 \text{ T}$, $H_{ci} = 1360 \text{ kA/m}$.

В-01-03 **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК DyM (M-Cd, Sc, Hf, V, Cu, Zr, Co)
НА СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАГНИТОВ Nd-Fe-B**

**Е.Н. Тарасов А.В. Зинин, Я.В. Панова, М.К. Шарин,
С.В. Андреев, О.А. Миляев**

Научно-исследовательский институт физики и прикладной математики Уральского Государственного университета им. А.М.Горького, Россия, 620083, Екатеринбург, ул. Ленина, 51, Evgeniy.Tarasov@usu.ru

В качестве легкоплавких добавок были выбраны несколько сплавов DyM, где M-Cd, Sc, Hf, V, Cu, Zr, Co. Добавки в виде мелкодисперсных порошков перемешивались с порошками исследуемых сплавов (П1, П2, П3 полученных вибрационным измельчением. Предварительно, в зависимости от хрупкости сплавов – добавок, они подвергались водородному и вибрационному измельчению.

Порошок П1- получен из сплава Nd-Fe-B с пониженным, по сравнению со стандартным для коммерческих ПМ, содержанием Nd (32% вес.)

Порошок П2-получен из сплава Nd-Fe-B со стандартным содержанием Nd (35 % вес.), но размолотый в течении

времени, превышающее оптимальное время. Выбор порошков П1 и П2» был сделан для эффективной оценки вводимых порошков–добавок. Т.к. из этих искусственно ”бракованных” порошков ПМ не получаются.

Порошок П3 получен из обычного коммерческого сплава при оптимальном времени измельчения. ПМ были изготовлены спеканием при температуре $T_{сп}$ 1080°C – 1120°C и термообработаны при T-500-550°C.

На основании измерения магнитных свойств постоянных магнитов показано, что сплавы добавки Sc и Hf наиболее эффективны для повышения коэрцитивной силы.

B-01-03 INFLUENCE OF THE ADDITIVES DyM (M-Cd, Sc, Hf, V, Cu, Zr, Co) ON CHARACTERISTIC SINTERED MAGNETS Nd-Fe-B

**E.N. Tarasov, A.V. Zinin, Ya.V. Panova, M.K. Sharin,
S.V. Andreev, O.A. Milyaev**

**Scientific research institute of physics and applied mathematics of
the Ural State University the name of Gorki, Russia, 620083, Yekaterin-
burg, st. Lenina, 51, Evgeniy.Tarasov@usu.ru**

From the easily melted additions a few alloys were chosen DyM, where M-Cd, Sc, Hf, V, Cu, Zr, Co. Additives in powders mixed up with powders of investigated alloys (P1, P2, P3) received by vibrating crushing. Beforehand, depending on frailty alloy -an additives, they were subjected to hydrogen and vibratory pulverizing.

Powder P1- is received from alloy Nd-Fe-B with lowered, in contrast with standard for commercial permanent magnets, with the maintenance Nd (32% weight.)

Powder P2 received from alloy Nd-Fe-B standard contents Nd (35 % weight.), but crushed during time, increasing optimum time. Choice of powders of P 1 and P2» it was done for the effective estimation of entered additional powders. Because from these artificial "defective" powders permanent magnets do not turn out.

Powder P3 is received from usual commercial alloy under optimum time of the pulverizing. Permanent magnets were got sintered at the temperature Tsp 1080 C - 1120 C, and heat treatment under T-500-550 C.

On the grounds of measurements magnetic characteristic constant magnet is shown that alloys of the additive Sc and Hf the most efficient for increasing coercivity force.

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
В-01-04 ПРИ ПРОВЕДЕНИИ HDDR- ПРОЦЕССА В СПЛАВАХ
Nd-Fe-B ПО ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СХЕМЕ**

**Б.Е.Винтайкин¹, В.В.Котунов², В.С.Крапошин¹, С.П.Щербаков¹,
Н.В.Иванова¹, В.Г.Субботин¹**

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э.
Баумана, Россия, 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5,
vintaikb@mail.ru

²ООО "Эрга", Калуга, erga1991@yandex.ru

Исследовали фазовый состав, анизотропию распределения направлений легкого намагничивания и магнитных свойств магнитов на основе соединения $Fe_{14}Nd_2B$, полученных с помощью процесса наводороживания-разводороживания при высоких температурах (HDDR-процесса[1]). Процесс проводили по изотермической схеме при температурах 800-870 С и различных плавно изменяемых давлениях водорода от 0 до 0,1 МПа. Именно такая схема с точки зрения термодинамики должна обеспечивать наиболее устойчивые термообработки, позволяет избегать сильных неконтролируемых перепадов температуры при переходных процессах термообработки, и поэтому должна обеспечить лучшую воспроизводимость режимов термообработки и связанных с ними магнитных свойств в случае крупных промышленных печей. Подобная схема действительно улучшает прямоугльность петель гистерезиса и анизотропию распределения осей легкого намагничивания [001] [2]. Выбраны оптимальные режимы HDDR процесса по этой схеме.

Рентгеновские исследования показали присутствие только основных фаз и полное отсутствие нежелательных с точки зрения получения высоких магнитных свойств фаз на всех этапах процесса. В прессованных образцах магнитов рентгеновским методом наблюдали средне-выраженную анизотропию распределения направления [001]. Наилучшие значения остаточной индукции составили 0,633 Тл в прессованном магните, они могут быть дополнительно улучшены последующей оптимизацией параметров процесса. Коэрцитивная сила составляла 12-14 кЭ.

В случае крупных промышленных печей проведение HDDR –процесса по изотермической схеме с плавно изменяемым давлением водорода позволяет получать высокую анизотропию магнитных свойств и остаточной индукции магнита.

[1] T. Takeshita, R. Nakayama. Proc. of the 11-th International Workshop on Rare-Earth Magnets and Their Applications. – Pittsburgh (1990) 49.

[2] Honkura Y. Proc. Gortham's 14-th International Conference (2003)1.

B-01-04 STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES INVESTIGATION OF THE Nd-Fe-B-ALLOYS DURING THE ISOTHERMAL VARIANT OF THE HDDR-PROCESS

**B.E.Vintaikin¹, V.V. Kotunov², S.P. Tscherbakov¹, N.V. Ivanova¹,
V.S. Kraposhin¹, V.G. Subbotin¹**

¹**Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow,
2nd Baumanskaya ul., 5, vintaikb@mail.ru
²**ООО "Эпра", Калуга, erga1991@yandex.ru****

The phase composition, anisotropy distribution of the easy magnetization axis and magnetic properties of the Fe₁₄Nd₂B permanent magnets have been investigated during high-temperature HDDR-process [1]. HDDR was conducted under isothermal conditions at 800-870°C and different slowly changed hydrogen pressures between 0 and 0,1 MPa. From the thermodynamic point of view just such route will ensure the most reliable heat treatment regimes without significant non-controllable temperature drops during the transient stages of the heat treatment, respectively it will ensure the best repeatability of the heat treatment regimes and magnetic properties determined by the heat treatment history in the large scale industrial furnaces. Actually, this scheme gives rise to the better hysteresis loop squariness and anisotropy distribution of the easy axes [001] as was shown in [2].

In the present work the optimal HDDR regimes in accordance to this scheme were selected. During all stages of our process X-ray diffraction shows the presence of the main phase only and complete absence of the phases deteriorating magnetic properties. In the compacted magnets the moderate anisotropy distribution of the easy axis [001] was observed by the X-ray method. The best values of the remanent induction up to 0.633 T have been achieved, this level could be much better after subsequent process optimization. The coercivity level was 12 - 14 kOe.

In conclusion, the isothermal scheme of the HDDR process with a slow variation of the hydrogen pressure permits to achieve both high magnetic anisotropy and remanent induction in case of the large scale industrial furnaces.

[1] T. Takeshita, R. Nakayama. Proc. of the 11-th International Workshop on Rare-Earth Magnets and Their Applications. – Pittsburgh (1990) 49.

[2] Honkura Y. Proc. Gortham's 14-th International Conference (2003)1.

В-01-05

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ МАГНИТОВ НАНОСТРУКТУРНОЙ
МОДИФИКАЦИЕЙ КОМПОНЕНТОВ НА ГРАНИЦЕ
РАЗДЕЛА ФАЗ**

А.Г. Голубков, К. В. Лабазников, В.В. Смирнов, Смирнова В.В.
Инновационный магнитный центр, 194223, С-Пб, ул.Курчатова 9,
inmmc@yandex.ru

Анизотропные изделия из полимерных композиционных магнитных материалов - далее полимерные анизотропные магниты (ПАМ), получаемые методом экструзии и литья под давлением в магнитном поле, представляют наибольший интерес в ряду подобных, так как имеют существенно более высокие магнитные свойства. Для таких материалов, наряду с требованиями к наполнителям и связующим (с точки зрения их оптимизации применительно к конкретному наполнителю) важен еще один момент, упоминается реже – это явления на границе раздела фаз. Вместе с тем, к пограничным слоям предъявляется комплекс разнообразных требований: обеспечение подвижности частиц в состоянии расплава, отсутствие ретардации (упругого последдействия), прочное сцепление связующего и наполнителя в изделии и др.

В работе изучена возможность регулирования реологических и магнитных свойств композиций методом молекулярного наслаивания (МН) монослоев новых структурных единиц на поверхность магнитного наполнителя и сформулированы основные принципы создания наноструктур на поверхности магнитного наполнителя, что позволяет придать необходимые функциональные свойства конечной системе. Технология создается под конкретные материалы, а именно: бариевые и стронциевые ферриты, гексаферриты Y и M типов, оксид железа, порошок неодим-железо-бор.

Синтезированы новые функциональные группы, которые можно представить в общем виде как $(>R-O)_nECl_{m-n}O_k$, где $(>R-O-)$ - фрагмент поверхности наполнителя; E - элемент в составе новой функциональной группы (Ti, V, Cr, P, Zn, Fe, Al, W, Ta, Zr, B и др.); O - кислород; n, m, k - стехиометрические коэффициенты. Получение сульфидных, нитридных, углеродных поверхностных наноструктур, наряду с приданием требуемых магнитных свойств, обеспечивают необходимые нанореологические характеристики межфазного слоя для придания необходимых микро- и макрореологических характеристик.

На основании проведенных экспериментальных исследований сформулировано понятие нанотехнологии полимерных анизотропных магнитов на принципах метода молекулярного наслаивания - это совокупность химических и физико-химических способов и приемов создания на поверхности подложки структур, имеющих хотя бы в одном из трех направлений нанометровые размеры, а также получение и соединение (химическая сварка) микро- и макро объектов путем поэтапной химической сборки.

B-01-05 **INCREASE OF THE EFFECTIVENESS OF ANISOTROPIC
POLYMERIC MAGNETS BY THE NANOSTRUCTURAL
MODIFICATION OF THE COMPONENTS ON THE BOR-
DER OF THE PHASES DIVISION**

A.G. Golubkov, K.V. Labaznikov, V.V. Smirnov, V.V. Smirnova
Innovation magnetic center, 194223, Saint-Petersburg, Kurchatova 9,
inmc@yandex.ru

Anisotropic articles made of the polymeric composite magnetic materials - polymeric anisotropic magnets (PAM), obtained by method of extrusion and injection molding in magnetic field, are of the greatest interest in a range, since they have substantially higher magnetic properties. For such materials, together with the requirements for the fillers and the bonding agent (from the point of view of their optimization in connection with concrete filler) is important one additional moment, which is mentioned more rarely - the processes on the border of the phases division. At the same time, to the boundary layers complex of requirements is presented: the guarantee of a mobility of particles in the state of fusion, the absence of retardation (elastic after-effect), the durable cohesion of bonding agent and filler in a product and others.

The possibility of regulating the rheological and magnetic properties of compositions by the method of the molecular stratification of the monolayers of new structural units to the surface of magnetic filler is studied and basic principles of the creation of nanostructures on the surface of magnetic filler, which makes it possible to give the necessary functional properties to final system are formulated. Technology is created for the materials: baric and strontium ferrites, hexaferrites Y and M of types, the oxide of iron, powder neodymium-iron-boron.

New functional groups are synthesized, which it is possible to present in general form as $(>R-O-)_{nE[S]m-nOk}$, where $(>R-O-)$ - the fragment of the surface of filler; E - element in the composition of new functional group (Ti, the V, Cr, P, Zn, Fe, Al, W, Ta, Zr, B and other); O - oxygen; n, m, k - stoichiometric coefficients. Obtaining the sulfide, nitride, carbonic nanostructural surfaces, together with giving of the required magnetic properties, ensure the necessary nano-rheological characteristics of separation layer for giving the necessary micro- and macro-rheological characteristics.

On the basis of experimental investigations is formulated the concept of the nano-technology of polymeric anisotropic magnets on the principles of the method of molecular stratification - these are the totality of chemical and physico-chemical methods and approaches of creation on the surface of the base layer the structures, which have at least in one of three directions nano-sizes, and also obtaining and the connection (chemical welding) of micro- and macro objects by atomic chemical assembling.

В-01-06 НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МАКРО-, МИКРО- И НАНО-РЕОЛОГИИ АНИЗОТРОПНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.А. Мельников, А.Г. Голубков, Б.В. Полеготченков, К.О. Солошенко
Инновационный магнитный центр, 194223, С-Пб, ул.Курчатова 9,
innmc@yandex.ru

С точки зрения классической реологии механики сплошных сред (МСС), когда усредненные значения вязкости, плотности и т. д. принимаются в качестве истинных, полимерные композиционные магнитные материалы (ПКММ) могут рассматриваться как сложные реологические системы, обладающие набором вязких, пластических и упругих свойств. Поскольку такой подход является единственно продуктивным при расчете перерабатывающего оборудования (возможно использование аппарата МСС) в работе проанализирована применимость различных реологических уравнений состояния для определения взаимосвязи между данными реологических испытаний на приборах ротационного и капиллярного типа и условиями переработки. Разработана методика расчета с учетом скольжения материала по стенкам корпуса и использованием переменных реологических параметров при последовательном движении материала по секциям червяка. Вместе с тем показана ограниченность применимости макрореологического подхода для указанных материалов при анализе многих явлений, имеющих принципиальное значение. Микро- и нанореологические эффекты определяются прежде всего с флуктуаций распределения плотностей массы и неоднородностями в микровязкости». Это связано как с исходным состоянием среды – наличия конгломератов частиц, так и с формированием их ассоциатов - «кластеров» - непосредственно при течении в процессе переработки. Течение - в соответствии с принципом минимума диссипации энергии Гельмгольца - локализуется по наименее прочным связям, в то время как другие группы частиц уплотняются, перемещаются как отдельные реологические единицы. Далее образуются арки, мостики; профиль скоростей искажается. Связующее выдавливается преимущественно в межкластерное пространство. Таким образом, даже первоначально гомогенная структура при деформировании превращается в гетерогенную. В работе анализируются причины нарушения стабильности процесса экструзии, в том числе в связи с влиянием внешнего магнитного поля. Показана перспективность подготовки наполнителя методом молекулярного наслаивания компонентов с последующим использованием латексной технологии введения связующего. При этом удастся добиться создания трехмерной (с реологической точки зрения) структуры связующего: вязкоупругого монослоя на поверхности наполнителя, вязкопластичного промежуточного слоя и эластовязкой матрицы. При отверждении (температурном или химическом) композиция приобретает физическое состояние с требуемым сочетанием жесткости и эластичности.

**SOME QUESTIONS OF MACRO-, MICRO- AND THE
B-01-06 NANO-RHEOLOGY OF THE ANISOTROPIC COMPOSITE
MAGNETIC MATERIALS**

I.A. Melnikov, A.G. Golubkov, B.V. Polegotchenkov, K.O. Soloshenko.
Innovation magnetic center, 194223, Saint-Petersburg, Kurchatova 9,
inmmc@yandex.ru

From the point of view of classical rheology of the mechanism of unbroken mediums, when the averaged values of viscosity, density, etc are considered as the true, polymeric composite magnetic materials (PCMM) can be considered as the complex rheological systems, which possess the number of viscous, plastic and elastic properties. Since this approach is singularly productive for the calculation of the processing equipment (is possible the use of a apparatus of MSS) in the work is analyzed the applicability of different rheological equations of state for determining the interrelation between the data of rheological tests on rotary and capillary type instruments and processing conditions. Calculation procedure taking into account the slip of material along the walls and use of the variable rheological parameters during the sequential motion of material along the sections of screw is developed. Together with those is shown the limitedness of the applicability of macro-rheological approach for mentioned materials with the analysis of many effects, which have fundamental value. Micro- and nano-rheological effects are determined, first of all, from fluctuation of the distribution of mass densities and by heterogeneities in the microviscosity. This is connected both with the initial state of the medium of – the presence of the conglomerations of particles, and with the formation of their associates - “clusters” - directly with the flow in the process of processing. Flow - in accordance with the principle of Helmholtz's of the minimum of the dissipation energy - is localized according to the least durable bonds other, while batches of particles are moved as separate «rheological units». Further are formed arches, bridges; the velocity profile is distorted. Bonding agent is extruded predominantly into the intercluster space. Thus, even initially homogeneous structure with the deformation is converted into the heterogeneous. In the work the reasons for the disturbance of the stability of the process of extrusion are analyzed, including in connection with the influence of external magnetic field. Is shown the perspective of the preparation of filler by the method of the molecular stratification of components with the subsequent use of latex technology of the introduction of bonding agent. In this case it is possible to attain the creation of the three-dimensional (from a rheological point of view) structure of the bonding agent: visco-elastic monolayer on the surface of filler, visco-plastic interlayer and visco-elastic matrix. During baking (temperature or chemical) the composition acquires physical state with the required combination of hardness and elasticity.

В-01-07 **СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Е.В. Сидоров¹, М. В. Пикунов²

¹ Владимирский государственный университет, Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, 87, ferromag@inbox.ru

² Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4, misistlp@mail.ru

Использование в исходных металлических заготовках кристаллографической анизотропии позволяет достичь исключительно высоких эксплуатационных свойств готовых изделий. Монокристаллическая структура в заготовках из сплавов ЮНДКТ и Fe – Co – Cr – Mo позволяет достичь наибольшего уровня магнитных свойств для данных составов. Постоянные магниты с монокристаллической структурой обладают коэффициентами температурной и временной нестабильности в 10 раз меньшими, чем аналогичные постоянные магниты с равноосной или столбчатой структурами. Монокристаллические постоянные магниты из сплавов ЮНДКТ и Fe – Co – Cr – Mo применяют в основном для особо точных приборов ракетно-космической, авиационной и морской техники, несмотря на их исключительно высокую стоимость.

Рассмотрена история получения первых монокристаллических постоянных магнитов и разработка промышленных технологий за рубежом и в России. Проведен теоретический анализ образования монокристаллической структуры в отливках из магнитных сплавов ЮНДКТ и Fe – Co – Cr – Mo, рассмотрены основные принципы образования случайных кристаллов при направленном управляемом затвердевании, обоснованы основные технологические режимы изготовления монокристаллов и применяемого оборудования.

B-01-07 STATE-OF-THE-ART THEORY AND PRACTICE OF SINGLE CRYSTAL PERMANENT MAGNET MANUFACTURING

E.V. Sidorov¹, M.V. Pikunov²

¹Vladimir state university, Russia, 600000, Vladimir, Gorky St., 87,
ferromag@inbox.ru

²State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, misistlp@mail.ru

Application of crystallographic anisotropy in initial metallic ingots makes it possible to achieve exceptionally high performance of final products. Single crystal structure in YuNDKT and Fe – Co – Cr – Mo alloy ingots allows to achieve the highest values of magnetic properties for these compositions. Permanent magnets with single crystal structure have temperature and time non-stability coefficients 10 times less than the same permanent magnets with equiaxial and columnar structures. Single crystal YuNDKT and Fe – Co – Cr – Mo permanent magnets are used mainly in high precision instruments and apparatuses of space, aviation and marine techniques despite their exceptionally high cost.

History of single crystal permanent magnet evolution and mass-scale production technology development in Russia and abroad have been considered. Theoretical analysis of single crystal structure formation in castings of YuNDKT and Fe – Co – Cr – Mo magnetic alloys has been carried out, the main principles of random crystal formation at controlled directional solidification have been described, the main technological modes of single crystal manufacturing and the applied equipment have been characterized.

В-01-08

**БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ЛИТЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Е.В. Сидоров, А.В. Ермилов, А.В. Костин

**Владимирский государственный университет, Россия, 600000, Влади-
мир, ул. Горького, 87, ferromag@inbox.ru**

Литые постоянные магниты в значительных количествах используют в приборостроении, электротехнике, электронике и т.д. Литые магнитотвердые сплавы являются многокомпонентными, в состав которых входят дорогие металлы – кобальт, никель, медь, титан, алюминий, ниобий. Все магнитные сплавы являются прецизионными и незначительные отклонения от химического состава не обеспечивают достижения требуемого уровня магнитных свойств. При плавке только на чистых компонентах происходит перераспределение содержания всех компонентов от исходного: уменьшается содержание кобальта, алюминия и титана, а содержание никеля и железа прирастает. Такое изменение учитывают при расчете шихты. При получении литых магнитов доля литников часто достигает 70 – 80 %, а отходы от зачистки и шлифовки – 5 – 10 %.

Использование отходов для повторного производства всегда было затруднительно. Максимальное количество не превышало 20 – 30 %. В связи с чем основная доля отходов отгружалась на металлургические заводы для извлечения только кобальта, никеля и меди.

Специалистами Владимирского государственного университета разработаны два метода использования отходов. Первый заключается в алюмотермическом восстановлении обожженных и сепарированных шлифотходов в виде порошка. Второй способ заключается в получении высококачественной паспортной шихты из литников и бракованных отливок с последующей подшихтовкой до требуемого состава. Оба способа защищены патентами и внедрены в НПО «Магнетон».

**B-01-08 WASTELESS TECHNOLOGY OF CAST PERMANENT
MAGNET MANUFACTURING**

E.V. Sidorov, A.V. Ermilov, A.V. Kostin
Vladimir state university, Russia, 600000, Vladimir, Gorky St., 87,
ferromag@inbox.ru

Cast permanent magnets are used in considerable quantities in instrument making, electrical manufacturing, electronic industries and others. Cast permanent magnet alloys are multi-component, containing expensive metals: cobalt, nickel, copper, titanium, aluminum, niobium. All magnetic alloys are precision alloys, and a slight deviation from specified chemical composition does not allow to achieve required magnetic properties. When only pure elements are melted, redistribution of the content of all elements, compared to the initial one, takes place: cobalt, aluminum and titanium contents decrease and iron and nickel contents increase. Such changes are taken into consideration when a charge is calculated. In production casting wastes reach 70 – 80 % and trimming and grinding wastes make 5 – 10 %.

It was always problematic to use wastes in recurring production. Maximum amount of recycled wastes did not exceed 20 – 30 %. The major fraction of wastes was shipped to metallurgical plants where only cobalt, nickel and copper were extracted.

Specialists from Vladimir state university have developed two techniques of cast permanent magnet waste recycling. The first is aluminothermic reduction of annealed and separated powder type grinding wastes. The second consists in high quality raw materials manufacturing out of casting wastes and rejected ingots with subsequent addition of other elements according to the required composition. Both techniques are patented and have been implemented in Research and Production Corporation “Magnetron”.

В-01-09 ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВОВ НА ОБРАЗОВАНИЕ МИКРОПОРИСТОСТИ В ЛИТЫХ ЗАГОТОВКАХ ИЗ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

Соломина Ю.В.

Владимирский Государственный Университет, Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, 87, liya.solo@mail.ru

Целью данной работы было уменьшение микропористости в литых заготовках из магнитных сплавов типа ЮНДК и ЮНДКТ.

Усадочная микропористость в литых заготовках из металлических сплавов является наиболее часто встречаемым литейным дефектом, который в значительной степени понижает эксплуатационные свойства готовых изделий. Основная причина образования усадочной пористости – наличие в затвердевающей отливке переходной двухфазной области, которая всегда существует при наличии интервала кристаллизации у сплавов и приводит к образованию изолированных участков жидкости. Принято считать, что чем шире величина равновесного интервала кристаллизации, тем более развитая поучается усадочная пористость в литых заготовках при равных условиях теплоотвода.

В данной работе были проведены теоретические и экспериментальные исследования зависимости микропористости в отливках от вида диаграмм состояния и степени отклонения от равновесной кристаллизации.

Было установлено, что размеры и строение переходной двухфазной области, в том числе и объём изолированной жидкости, кроме условий теплоотвода, в большей мере определяются степенью отклонения процесса от равновесной кристаллизации и величиной неравновесного интервала кристаллизации. Для уменьшения усадочной пористости в отливках целесообразно изменять составы сплавов таким образом, чтобы величины доля сплава, кристаллизующегося за счет диффузионного распада и темп кристаллизации на ликвидусе имели наибольшие значения, а неравновесный и равновесный интервалы кристаллизации - наименьшие.

**B-01-09 AFFECT OF ALLOY CRYSTALLIZATION CHARACTER
ON THE MICROPOROSITY FORMATION IN CAST IN-
GOTS OF MAGNETIC ALLOYS**

Yu. V. Solomeina

**Vladimir State University, Russia, 600000 Vladimir, Gorky St., 87,
liya.solo@mail.ru**

The purpose of the present work was to reduce microporosity in cast ingots of YuNDK and YuNDKT type magnetic alloys.

Shrinkage porosity in cast ingots of metallic alloys is the most common cast defect which considerably deteriorates operating characteristics of final products. The main reason of the shrinkage porosity formation is the presence of the transition two-phase region in the solidifying ingot, which is always present if the crystallization range is available in alloys and results in the formation of isolated liquid sections. It is customary considered that the wider the equilibrium crystallization range the more developed is the shrinkage porosity in cast ingots at equal heat withdrawal conditions.

Theoretical and experimental investigations of the casting microporosity dependence on the phase diagram configuration and the degree of deviation from equilibrium crystallization have been carried out in the present work.

It was found out that the size and configuration of the transition two-phase region, as well as the volume of the isolated liquid, except heat withdrawal conditions, are determined to a greater extent by the degree of the process deviation from equilibrium crystallization and by the value of the non-equilibrium crystallization range. To reduce shrinkage porosity in castings it is reasonable to change alloy compositions so that the fraction of the alloy crystallizing via diffusion decomposition and the crystallization rate at liquidus had maximum values, and the non-equilibrium and equilibrium crystallization ranges – the minimum ones.

В-01-10 УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ШЕСТНАДЦАТИПОЛЮСНОГО МАГНИТА ИЗ СПЛАВА ЮНДК

Соломеина Ю.В.

Владимирский Государственный Университет, Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, 87, liya.solo@mail.ru

Шестнадцатиполюсный звездчатый магнит используется для изготовления высокоэффективных генераторов возбуждения.

Этот магнит изготавливается из сплава ЮНДК. Сплав ЮНДК используется для получения отливок с равноосной структурой и характеризуется средней величиной коэрцитивной силы. Однако этот магнит работает в условиях высоких размагничивающих полей что требует обеспечения коэрцитивной силы: $H_c \geq 44$ кА/м. С этой целью на Сарапульском электрогенераторном заводе в состав сплава вводят 1,5-2% титана.

После выплавки сплава, заливки его в формы, выбивки, термической и механической обработки проводят испытания на разгон (вращением со скоростью 9000 об/мин). В процессе этой операции 20-25% литых заготовок разрушаются. В изломе этих образцов всегда выявляют раковины, усадочные поры, оксидные пленки.

Причиной образования усадочных раковин и других дефектов можно считать неправильный подвод металла, несоответствие температурам заливки и температурам формы.

При этом необходимо иметь в виду, что величина среднего размера дендритной ячейки не должна превышать значения 30-40 мкм

Для того чтобы убедиться в правильности выбора оптимальных режимов провели моделирование процесса заливки формы и затвердевания отливки с помощью специальной программы LVMFlow.

При этом рассматривали несколько вариантов, чтобы по окончании моделирования, на основании полученных результатов, выбрать оптимальный.

Поэтому по результатам моделирования приняли следующие параметры процесса:

- температура заливки должна составлять 1600-1650°C,
- температура форма - 800-850°C,
- скорость охлаждения должна быть не меньше 30-40°C/мин.

Таким образом, программа LVMFlow позволяет без натуральных экспериментов (а значит без затрат дополнительных затрат) провести оптимизацию литниково-питающей системы и, следовательно, избежать образования многих многих литейных дефектов, таких как пористость, поверхностные дефекты, недоливы, и т.д. Моделирование в пакете LVMFlow позволяет выполнять расчеты и при этом сохранять высокую точность результатов этих расчетов и их совпадение с экспериментальными данными.

**B-01-10 IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY
OF A SIXTEEN-POLE MAGNET OF YuNDK TYPE ALLOY**

Yu. V. Solomeina

**Vladimir State University, Russia, 600000 Vladimir, Gorky St., 87,
liya.solo@mail.ru**

Sixteen-pole magnets (outer diameter 120,5 mm, inner diameter 76,2 mm, height 12,6 mm) with salient poles made of YuNDK alloy are used to manufacture high performance excitation generators.

So far as high demagnetizing fields are generated in a magnetic system, the coercive force value according to the drawing requirements must be $H_{cB} > 46$ kA/m. With this purpose at the production plant up to 1,5 % titanium is introduced into the alloy composition. However this element leads to casting defects formation – shrinkage pores, shells.

Besides magnetic parameters control, acceleration tests of magnets are carried out (rotation at the 9000 revolutions per minute speed). During this operation 20-25 % ingots are damaged. In fractures of these samples there are always holes, shrinkage pores, oxide films.

These defects can be eliminated by adjusting melting and pouring modes, improving casting processes, changing alloy crystallization character (optimizing alloy chemical composition).

For this purpose simulation of the mold pouring process and ingot solidification was carried out using a special LVMFlow program. Various temperature modes, mold system components, crystallization character factors were considered. Simulation resulted in the following optimum modes ensuring high quality ingot manufacturing:

- pouring temperature 1600-1650 °C;
- mold temperature 800-850 °C;
- cooling rate within the crystallization range $V_{col} > 30$ °C/min.

Thus, the LVMFlow program made it possible to optimize the mold-feeding system and eliminate the formation of pores, surface defects, underfilling, etc. without full-scale experiments, i.e. without additional expenditures. Simulation in the frame of the LVMFlow program allows to make calculations and obtain high precision results which are in good agreement with experimental data. On the base of the adjusted process modes pilot lots of castings were manufactured which were free of the defects named above.

**ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ ТРАВиль-
В-01-11 НЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ СИНТЕЗА МАГНИТНЫХ МА-
ТЕРИАЛОВ**

А.А. Мухтар

**ДГП «Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева», Казах-
стан, 100009, г. Караганда, ул. Ермекова, 63, bkosimova@rambler.ru**

Основным видом сырья для синтеза магнитных материалов является оксид железа (III), содержание которого в указанных материалах изменяется от 60 до 90% (масс). Одним из основных источников получения оксида железа могут стать травильные растворы.

Проведены исследования по изучению возможности получения оксида железа (III) из хлоридных травильных растворов листопрокатного производства.

С целью определения возможного изменения состава травильных хлоридных растворов содержащих железо, непосредственно в травильном цехе отбирались пробы в течение года. Результаты химического анализа проб растворов показали, что наиболее значительными примесями являются: марганец (среднее содержание-0,29%). С целью снижения содержания марганца в растворах проведены сорбционная и цементационная очистка данных растворов. В качестве сорбента использован активированный уголь. Установлено, что сорбция марганца в динамическом режиме составила 97,2%. Цементацию проводили на металлическом железе. Извлечение марганца в осадок составило 56,4%. очищенные таким образом хлоридные растворы подвергали термическому разложению при температуре 450 °С при ограниченном доступе воздуха. Полученные пробы твердых продуктов реакции подвергали химическому, спектральному и рентгенофазовому анализу. Содержание основного вещества оксида железа (III) во всех полученных продуктах реакции составляла в среднем 98,69%. Близки между собой значения остатка на сите №01, насыпной массы, времени растворения в кислоте. Значения массовой доли сульфатов и потерь при высушивании также близки, но в пробах отобранных в конце года превышают среднее значение в 6 и 2 раза соответственно, что, по-видимому, связано с химическим составом металла, подвергающегося травлению.

Таким образом, проведенные исследования показали, что травильные хлоридные растворы листопрокатного производства могут быть использованы для получения чистого оксида железа (III).

**B-01-11 RECEPTION OF THE IRON OXIDE (III) FROM ALKALI
DIPS FOR SYNTHESIS OF MAGNETIC MATERIALS**

A.A. Mukhtar

**Abishev chemical and metallurgical institute of a name, Kazakhstan,
100009, Karaganda, Ermekova st., 63. bkosimova@rambler.ru**

The basic kind of raw material for synthesis of magnetic materials is oxide of iron (III). This content in the specified materials changes from 60 up to 90 % (weights). One of the basic sources of oxide of iron is dips.

Researches on studying an opportunity of reception of oxide of iron (III) of chloride dips of sheet-rolling production were carried out.

With the purpose of definition of possible change of composition of pickling chloride solutions containing iron, samples were selected in the pickling shop within a year. Results of chemical analysis of samples have shown that the most significant impurity is: manganese (the average contents – 0,29 of %). With the purpose of decrease in the contents of manganese in solutions sorption and case hardening purification of the yielded solutions were conducted. As a sorbent activacard carboy is used. It is determined, that sorption of manganese in a dynamic mode has reached 97,2 %. Cementation was made on metal iron. Extraction of manganese in a deposit was 56,4 %. Purified chloride solutions were subjected to thermal decomposition at 450 °C with the limited access of air. The received samples of solid resultants of reaction were subjected chemical, spectral and x-ray and phase to the analysis. The content of the basic substance of oxide of iron (III) in all received resultants of reaction averaged 98,69 %. Values of a sieve residue №01, bulk weight, time of dissolution in an acid are close among themselves. Values of a mass fraction of sulphates and losses at desiccation are also close, but in samples selected in the end of year exceed average value in 6 and 2 times accordingly, that, apparently, is connected with chemical composition of the metal, and exposed to pickling.

Thus, carried out researches have shown that pickling chloride solutions of sheet-rolling production can be used for reception of pure oxide of iron (III).

В-01-12С СИНТЕЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ФЕРРИТОВЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ЧИП-ЭЛЕМЕНТОВ**В. Ломоносов¹, В. Паньков¹, М. Ивановская², Д. Котиков²**¹Белорусский государственный университет, Беларусь, 220030, Минск, ул. Ленинградская 14²НИИ физико-химических проблем Белорусского госуниверситета, Беларусь, 220030, Минск, ул. Ленинградская, 14, ivanovskaya@bsu.by

Основным материалом при изготовлении чип-элементов для радиоэлектронной промышленности служат композиции феррит-серебро. В качестве ферритовой составляющей применяют магнитомягкие материалы, главным образом, на основе Ni-Zn-Cu-ферритов. Чтобы получить необходимые характеристики к порошкам и спеченным ферритам предъявляются определенные требования ($T_{\text{спекания}} < 900^{\circ}\text{C}$, d_{max} частиц порошка $\leq 0,8$ мкм, $\mu_{\text{начальная}}$ более 300 ед, Q 80-110 ед.). Одним из путей решения поставленной задачи является увеличение активности к спеканию ферритовых порошков, правильному выбору их составов и специальных добавок, с целью формирования определенной микроструктуры.

В работе найдены оптимальные составы порошков феррита (мол. %): NiO – 7-11, CuO – 16, ZnO – 25,5-30, Fe₂O₃ – 49,4-49,8, при спекании которых ($T < 900^{\circ}\text{C}$) проявляют магнитную проницаемость 280-330 ед. и добротность 90 ед. на частоте 2 МГц. Исследованы кинетика и механизм уплотнения данных ферритовых порошков после механической активации с использованием высокоэнергетического помола (атритор). Нитратно-цитратным методом синтезирован нанодисперсный ($d \approx 20-40$ нм) реакционноспособный ферритовый порошок для активации процесса спекания. Введение наноразмерного, «активного» прекурсора в измельченную шихту того же состава приводит к снижению температуры спекания и формированию плотной беспористой микроструктуры изделия. Спекание при $T = 890^{\circ}\text{C}/2\text{ч}$ ферритизированной шихты из измельченного порошка и добавки 25-30% «активной» составляющей (порошок полученный после терморазложения нитрат-цитратного геля) получены ферриты с параметрами $\mu \geq 400$ ед. и $Q \approx 70$ ед.

**B-01-12C SYNTHESIS OF LOW-TEMPERATURE FERRITE POW-
DERS FOR CHIP ELEMENTS****V. Lomonosov¹, V. Pankov¹, M. Ivanovska², D. Kotsikau²**¹Belarusian State University,

Belarus, 220030, Minsk, Leningradskaya, 14

²Research Institute for Physical-Chemical Problems,Belarus, 220030, Minsk, Leningradskaya, 14, ivanovskaya@bsu.by

Ferrite–silver composite is the main material to produce chip elements for radioelectronic industry. Ni–Zn–Cu-based ferrites, which are soft magnetic materials, are widely used as the ferrite component. In order to attach the required characteristics to the composite, both powder and calcined ferrite should possess the following features: calcination temperature below 900 °C, maximum diameter of grain size 0.8 μm, initial magnetic permeability μ over 300, Q -quality 80–110). One of the possible ways to reach the mentioned features is to find suitable composition of the ferrite and nature of dopants that provides the activation of powder sintering process and formation of specific microstructure.

Optimal composition of the ferrite powder was found in this study (molar %): NiO – 7–11, CuO – 16, ZnO – 25.5–30, Fe₂O₃ – 49.4–49.8. Calcination of this powder at $T < 900$ °C resulted in a magnet sample with magnetic permeability $\mu = 280$ –330 and Q -quality 90 (measured at 2 MHz frequency).

Kinetics and mechanism of compacting processes of the obtained ferrite powders after mechanical activation by applying high-energetic milling in an attritor were studied. The sintering process was activated by using nano-sized ($d \approx 20$ –40 nm) ferrite powder prepared by citrate-nitrate approach. Adding this highly reactive precursor to the ferrite stock of the same composition leads to the decrease of the sintering temperature and to the formation of dense porous microstructure of the resulting device. Thus, the sintering at 890 °C for 2 h sample prepared by adding 25–30% of the nanosized powder to the milled ferrite stock provides the following magnetic characteristics: magnetic permeability $\mu \geq 400$ and Q -quality ≈ 70 .

**ВЛИЯНИЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МАГНИТНЫЕ
В-01-13С СВОЙСТВА УСЛОВИЙ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПО-
РОШКА ГЕКСАФЕРРИТА СТРОНЦИЯ**

**М. Ивановская¹, В. Ломоносов¹, Д. Котиков¹, В. Паньков¹,
В. Шамбалёв²**

¹ НИИ физико-химических проблем Белорусского госуниверситета,
Беларусь, 220030, Минск, ул. Ленинградская, 14, ivanovskaya@bsu.by
² ОП РУП «Феррит», г. Минск, ул. П. Бровки, 19

Важнейшей стадией технологии изготовления магнитных материалов на основе гексаферрита стронция, ответственной за их магнитные параметры, является подготовка исходного порошка феррита перед прессованием и спеканием. Существенное улучшение свойств магнитных материалов может быть достигнуто и добавлением к гексаферриту стронция на стадии диспергирования различных веществ. В данной работе рассмотрено влияние условий размола порошка $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ и введения микродобавок на структуру и магнитные характеристики изотропных магнитов. Использовали порошок $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Оленегорского комбината (Россия). Ранее показано, что наиболее эффективное повышение магнитных характеристик этого материала достигается при введении комплексной добавки SiO_2 , CaCO_3 , H_3BO_3 .

Использовали две методики размола порошка – диспергирование в агатовой ступке с добавлением этанола и в планетарной мельнице РМ 400 в изопропанол с применением стальных шаров. Получали образцы порошков, измельченные без и с добавлением указанных выше веществ. Из полученных порошков изготовлены изотропные магниты прессованием под давлением $900 \text{ кг}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-2}$ и спеканием при 1180°C . Статические магнитные характеристики образцов измерены по стандартной методике на ОП РУП «Феррит». Порошки и сколы магнитов изучали методами СЭМ, РСМА и ИК-спектроскопии. Структурно-фазовый состав образцов исследовали методом рентгенографии.

На основании экспериментальных данных анализируются причины различий в размерах и морфологии зерен, микроструктуре магнитных материалов и их влияние на магнитные характеристики изготовленных образцов. Показано, что введение комплекса микродобавок повышает магнитные характеристики (B_r , H_c , $(BH)_{\text{max}}$) и плотность образцов независимо от способа измельчения порошка $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Высокую механическую прочность и максимальную плотность имеют магниты, полученные из порошка с микродобавками, измельченного в планетарной мельнице. Однако максимальная величина $(BH)_{\text{max}}$ наблюдается при измельчении $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ с микродобавками в агатовой ступке.

**B-01-13C EFFECT OF MILLING CONDITIONS OF STRONTIUM
HEXAFERRITE POWDER ON ITS MICROSTRUCTURE
AND MAGNETIC FEATURES**

**M. Ivanovskaya¹, D. Kotsikau¹, V. Lomonosov¹, V. Pankov¹,
V. Shambalyov²**

¹**Research Institute for Physical-Chemical Problems, Belarusian State University, Belarus, 220030, Minsk, Leningradskaya, 14, ivanovskaya@bsu.by**

²**«Ferrite» Enterprise, Belarus, Minsk, P. Brovki, 19**

Pretreating of initial ferrite powder prior to its press forming and annealing is a critical stage in the preparation technology of magnetic materials based on strontium hexaferrite. A considerable improving of functional features of the magnetic material can be achieved by doping strontium hexaferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) with various additives at the milling step.

The effect of micro-additives and milling conditions of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ powder on the structure and magnetic features of the resulting isotropic magnets has been studied in this work. $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ferrite powder produced by the Olenegorsk Enterprise (Russia) was used. It was shown earlier that the most pronounced effect on magnetic behavior of the ferrite is achieved under its doping with a composite $\text{SiO}_2+\text{CaCO}_3+\text{H}_3\text{BO}_3$ additive.

Two different powder dispersing techniques were used – applying planetary mill PM 400 (steel balls) with isopropanol and milling in agate mortar with ethanol. Pure $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ powders and doped ferrite samples were prepared. Both types of the obtained powders were used to fabricate isotropic magnets by press forming under $900 \text{ kg}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-2}$ pressure and calcination at $1180 \text{ }^\circ\text{C}$. Static magnetic features of the resulting samples were measured at the «Ferrite» Enterprise by conventional techniques. The powders and magnet splits were characterized by SEM, EDXA and IR-spectroscopy. Phase composition of the samples was ascertained by X-ray diffraction method.

The distinctions in grain size, morphology and microstructure of the magnetic materials were discussed basing on the obtained experimental data. The effect of the listed structural peculiarities on magnetic behavior of the magnets was revealed. Introduction of complex additives into $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ powder was shown to improve the magnetic features (B_r , H_c , $(BH)_{\text{max}}$) and to increase density of the magnets for both milling techniques used in the work. Higher mechanical stability and density of the magnets provides pretreating of the doped $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ powder in a planetary ball mill. In contrast, maximum $(BH)_{\text{max}}$ value was achieved by milling the same powder in an agate mortar.

B-01-14C **INFLUENCE OF CUBIC TEXTURE (100)[001] AND
MULTISTEP THERMAL MAGNETIC TREATMENT ON
THE MAGNETIC PROPERTIES OF
FE-30%CR-15%CO-2%MO-0.5%TI ALLOY**

**E.H. Dinislamova, A.V. Matrenin, R.I. Malinina, D.G. Zhukov,
O.A. Ushakova, I.M. Gracheva, I.V. Cherednichenko**
**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, yagoda_yagodka@mail.ru**

The magnet hardened state in permanent magnet Fe-Cr-Co-Mo alloys assigned with the decomposition of metastable α -solid solution on two isomorphic phases: α_1 reached by Fe and Co and α_2 reached by Cr. [1] There is possible to observe the isotropic or anisotropic thermal magnetic treatment (TMT) effect depending on α_1 and α_2 lattice parameters difference value.

For increasing magnetic properties of Fe-Cr-Co alloys these ones are alloying with Mo. During the TMT and subsequent treatments Mo the element with more nuclear radius, concentrates mainly in a α_2 -phase, increasing a difference of crystal lattice parameters of α_1 and α_2 phases that raises elastic energy and forces particles magnetic straight α_1 -phases to grow along a direction $\langle 100 \rangle$.

The influence of cubic texture (100)[001] and magnetic field through "up-decomposition" stage at 605-580 °C on magnetic properties of Fe-30%Cr-15%Co-2%Mo-0.5%Ti alloy were investigated.

The cubic texture (100)[001] was created from cold rolled alloy by the specified way [3, 4]: by the low temperature preliminary treatment – 650 °C – 90 min in common with high temperature treatment – 1125 °C – 2,5min with subsequence water quenching. Magnetic properties on specimens with crystalline texture that was treated with external magnetic field applied at 605-580 °C are: $BH_c = 66$ kA/m; $B_r = 1,22$ T; $(BH)_{max} = 44$ kJ/m³ [4]

[1] Kaneko H., Nomma M., Nakamura K. AIP Conf. Proc. 1972. № 5. P. 1088-1092.

[2] Беляцкая И.С. Магнитные материалы, М., «Металлургия», 1985, с. 39-49.

[3] Малинина Р.И., Ушакова О.А., Шубаков В.С. Сталь, 2006, № 6, с. 106-109.

[4] И.В. Чередниченко, В.С. Шубаков, Р.И. Малинина, А.С. Перминов, И.М. Грачева. Сталь, 2009, № 2, с. 62-64.

Секция С
**МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ: ФИЗИКА, ТЕХНИКА,
МЕТРОЛОГИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ**

Section C
**MAGNETIC MEASUREMENTS: PHYSICS, ENGINEERING,
METROLOGY, CERTIFICATION**

C-01-01 НАТУРНО-МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

**Н.И. Горбатенко¹, В.В. Гречихин¹, Н.М. Кыонг¹, Е. Калленбах²,
Й. Баумбах², А. Гадючко², В. Киреев**

¹Южно-Российский государственный технический университет, Россия, 346428, Новочеркасск, Просвещения ул., 132, vgrech@mail.ru

²STZ Mechatronik, Germany, 98693, Ilmenau, Werner-von-Siemens-Str., 12, jens.baumbach@stz-mtr.de

Постоянные магниты (ПМ) находят широкое применение в современных электротехнических устройствах. Одним из условий их использования является обеспечение заданных магнитных характеристик. В этой связи необходимо с высокой точностью измерять широкий спектр магнитных характеристик и параметров ПМ различной формы в сложных условиях. Например, в процессе производства необходимо определять на заготовках ПМ магнитные свойства материала с целью управления технологическим процессом их изготовления, а у готовых ПМ во время приемо-сдаточных испытаний прогнозировать рабочие свойства, которые они проявят после сборки в составе готового электротехнического устройства. Для повышения точности определения магнитных характеристик предлагается выполнять натурно-модельные испытания ПМ, объединяющие в единый измерительный процесс и измерение, и моделирование магнитных состояний испытуемого ПМ. При этом результаты эксперимента используются в качестве исходных данных для моделирования магнитных полей в магнитной системе и расчета показаний преобразователей магнитных величин с учетом их геометрических размеров и расположения. Теоретической основой для реализации таких испытаний являются адекватные модели магнитной системы экспериментальной установки и метрологическое обеспечение, позволяющее оценить погрешности определения характеристик материала ПМ с учетом погрешностей эксперимента и моделей.

Одним из устройств для реализации натурального эксперимента при испытаниях литых ПМ является прибор MagHyst. Его измерительный адаптер представляют собой магнитную систему с разомкнутой магнитной цепью. Выбор такой системы позволяет использовать готовые ПМ, т.е. отказаться от подготовки специальных образцов, что позволяет повысить достоверность испытаний. В качестве математической модели адаптера используется модель стационарного магнитного поля в виде нелинейного интегрального уравнения относительно намагниченности ферромагнетиков. Выполненные исследования показали, что натурно-модельные испытания позволяют существенно повысить точность измерения магнитных характеристик ПМ.

C-01-01 **NATURNO-MODELING TESTS OF PERMANENT
MAGNETS**

**N.I. Gorbatenko¹, V.V. Grechikhin¹, N.M. Kyong¹, E. Kallenbah²,
J. Baumbach², A. Gadjuchko², V. Kireev**

¹**South-Russia State Technical University, Russia, 346428, Novocherkassk,
Prosvescheniya Str., 132, vgrech@mail.ru**

²**STZ Mechatronik, Germany, 98693, Ilmenau, Werner-von-Siemens-Str., 12,
jens.baumbach@stz-mtr.de**

Permanent magnets (PM) find wide application in modern electrotechnical devices. One of conditions of their use is maintenance of the set magnetic characteristics. Thereupon it is necessary to measure with pinpoint accuracy a wide spectrum of magnetic characteristics and parameters PM of the various forms in difficult conditions. For example, in production process it is necessary to define on preparations PM magnetic properties of a material for the purpose of management of a process of their manufacturing, and at ready PM during approval tests to predict working properties which they will manifest after assemblage as a part of the ready electrotechnical device. For raise of accuracy of definition of magnetic characteristics it is offered to carry out the naturno-modeling tests PM merging in uniform measuring process and measurement, and modeling of magnetic conditions of examinee PM. Thus results of experiment are used in the capacity of initial data for modeling of magnetic fields in magnetic system and calculation of indications of converters of magnetic magnitudes taking into account their geometrical sizes and an arrangement. A theoretical basis for implementation of such tests are adequate models of magnetic system of experimental installation and the metrological maintenance, allowing to size up lapses of definition of characteristics of material PM taking into account lapses of experiment and models.

One of devices for implementation of natural experiment at tests cast PM is device MagHyst. Its measuring adapter represents magnetic system with the open magnetic chain. Sampling of such system allows to use finished PM, i.e. to refuse preparation of special samples that allows to raise reliability of tests. In the capacity of mathematical model of the adapter the model of a stationary magnetic field in the form of the nonlinear integrated equation concerning magnetization of ferromagnets is used. The executed researches have shown that accuracy of measurement of magnetic characteristics PM allows to raise naturno-modelling tests essentially.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАМАГНИЧИВАНИЯ
С-01-02 И ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪ-
ЕКТОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

А.Г. Пастушенков, П.В. Бойков

**ГОУ ВПО Тверской государственный университет, Россия, 170000,
Тверь, ул. Желябова, 33, Aleksander.Pastushenkov@tversu.ru**

Огромный опыт в исследовании магнитных свойствах ферромагнитных (магнитотвердых материалов) позволил выявить ряд закономерностей, проявляющихся при исследовании идентичных по свойствам реальных объектов в измерительных системах с различным построением рабочего пространства намагничивающего устройства:

- прямоугольность кривых размагничивания при измерении в замкнутой магнитной цепи выше, чем в магнитной цепи с немагнитным зазором;
- в разомкнутой магнитной цепи не бывает совпадения гистерезисных кривых при исследовании образцов разной формы из одного и того же материала, если расчеты проводятся из предположения $N=const$ и $N \neq 0$.

Даже в случае получения магнитных величин близких по значению необходим анализ условий их измерения, так как каждая из них может быть отягчена погрешностью, вызванной условиями эксперимента. Необходимо помнить, что реальные объекты исследования в магнитных системах с немагнитным зазором в каждый момент намагничивания и перемагничивания, как правило, намагничены по объему неоднородно, а их собственное поле размагничивания теряет линейности зависимости от намагниченности при приближении к насыщению [1,2]. Исключение из рассмотрения этих особенностей как правило приводит к неточностям и разночтениям при анализе полученных результатов.

Поэтому в настоящей работе был рассмотрен круг вопросов, связанных с изучением гистерезиса собственного поля размагничивания при получении измерительной информации баллистическим (измерительная катушка находится в нейтральном сечении образца) и магнитометрическим (в выработке измерительного сигнала участвует поле рассеяния всего объекта исследования) методами. Это позволило установить не только идентичность зависимостей собственного поля размагничивания от намагниченности в различных группах, но и их вида зависимостей полученных разными способами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №09-02-17274.

[1] В.Г. Антонов, Е.Н. Чечурина. Исследования в области магнитных измерений. 152(212)(1974)120

[2] А.Г. Пастушенков. Вестник ТвГУ. Серия «Физика». 4(6)(2004)19

C-01-02 **INVESTIGATION OF MAGNETIZATION AND MAGNETIC REVERSAL PROCESSES OF FERROMAGNETIC OBJECTS IN REAL CONDITIONS**

A.G.Pastushenkov, P.V.Bojkov

Tver State University, Russia, 170000, Tver, Zheljabova Str., 33_Aleksander.Pastushenkov@tversu.ru

The huge experience in magnetic properties investigations of hard ferromagnetic materials has allowed to reveal a number of laws shown at the research of real objects with identical properties in measuring systems with various constructions of working space of the magnetizing device:

- squareness of demagnetization curves at the measurement in the closed magnetic circuit is higher, than in a magnetic circuit with a non-magnetic gap;
- in the opened magnetic circuit there is no coincidence of hysteresis curves at the measurements of samples with different forms of the same material if the calculations are made from the assumption $N=const$ and $N \neq 0$.

The analysis of conditions of their measurement is necessary even in case of the acquisition of close by value magnetic quantities, as each of them can be aggravated by an error caused by experimental conditions. It is necessary to remember, that the real objects of research in magnetic systems with non-magnetic gap during each moment of magnetization and magnetic reversal, as a rule, are dissimilarly magnetized in the volume, and their own demagnetization field loses linearity of dependence on magnetization at the approach to saturation [1,2]. The exception of consideration of these features, as a rule, leads to discrepancies and different interpretations at the analysis of the received results.

Therefore the questions connected with the studying of hysteresis of own demagnetization field at the acquisition of the measuring data by ballistic (the measuring coil is in neutral section of the sample) and magnetometric (the field of dispersion of all object of research participates in the development of the measuring signal) methods were examined in this work. It has allowed to establish not only the identity of dependences of own demagnetization field of magnetization in various groups, but also the distinctions of kinds of dependences received by the different methods.

The work is supported by RFBR grant №09-02-17274.

[1] V.G.Antonov, E.N.Chechurina. Researches in the field of magnetic measurements. 152 (1974) 120

[2] A.G.Pastushenkov. TvSU Bulletin. Ser. Physics. 4 (2004) 19

С-01-03 **КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ
ПРИ БЕССЕНСОРНОМ ИЗМЕРЕНИИ МАГНИТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИА-
ЛОВ**

К.М. Широков, М.В. Ланкин

**Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),
Россия, 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, const1607@mail.ru**

Изделия из магнитотвердых материалов, как правило, имеют сложную форму, что затрудняет использование измерительных обмоток. Известно ряд устройств позволяющих осуществлять процедуру измерения магнитных характеристик без нанесения измерительной обмотки [1]. В этих устройствах напряженность магнитного поля определяется по величине тока перемагничивания, а индукция в соответствии с выражением: $B = k \int_l (U - IR_n) dt$, где I – ток, протекающий через намагничивающую обмотку; R_n – активная составляющая сопротивления намагничивающей обмотки; t – время; k – коэффициент, определяемый количеством витков намагничивающей обмотки, длиной магнитной линии l , площадью сечения испытуемого образца. Основным недостатком этих устройств является погрешность вычисления магнитной индукции, возникающая из-за температурных изменений активной составляющей R_n сопротивления намагничивающей обмотки. Предлагается два метода уменьшения данной погрешности. В первом – периодически осуществляется измерение активной составляющей R_n сопротивления намагничивающей обмотки с соответствующей корректировкой его значения [2]. Второй – предусматривает корректировку значения активной составляющей R_n сопротивления намагничивающей обмотки по результату моделирования процесса нагрева намагничивающей обмотки.

[1] Антонов В.Г., Петров Л.М., Щелкин А.П. Средства измерения магнитных параметров материалов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1986.

[2] Горбатенко Н.И. Ланкин М.В. Шайхутдинов Д.В. Широков К.М. Устройство для измерения характеристик магнитомягких материалов. / Заявка на изобретение РФ № 2009112158, заявл. 01.04.2009.

**C-01-03 TEMPERATURE ERROR COMPENSATION DURING
SENSORLESS MEASUREMENT OF MAGNETIC CHARACTERISTICS OF MAGNETO-SOLID MATERIALS****K.M. Shirokov, M.V. Lankin****The South Russian state technical university (NPI), Russian Federation,
346428, Novocherkassk, Prosvescheniya st., 132, const1607@mail.ru**

Products made from magneto-solid materials usually have difficult form what results in troubles using measurement coils. There are some devices which can measure magnetic characteristics without measurement coils [1]. These devices can determine strength of the magnetic field by the value of magnetizing current, and induction by the following expression: $B = k \int_0^t (U - IR_{\text{H}}) dt$, where I – is the current flowing through the magnetizing coil; R_{H} – is the active component of magnetizing coil resistance; t – is the time; k – is the coefficient defined by a number of turns of magnetizing coil, a length of magnetic line l , and a sectional area of the test sample. The main disadvantage of these devices is a magnetic induction computing error arises because of temperature fluctuations of magnetizing coil resistance's active component R_{H} . Proposing two methods of decreasing this error. The first method is to periodically measure the active component R_{H} of magnetizing coil's resistance and then to correct it's value respectively [2]. The second method provides correction of the active component R_{H} of magnetizing coil's resistance by a modeling of magnetizing coil heating process.

[1] Antonov V.G., Petrov L.M., Schelkin A.P. Tools to measure magnetic parameters of materials. Leningrad, Energoatomizdat, Leningradskoe otdeleniye, 1986.

[2] Gorbatenko N.I., Lankin M.V., Shayhutdinov D.V., Shirokov K.M. The device for measuring the characteristics of soft magnetic materials. / Request for an invention of Russian Federation # 2009112158, announcement 01 Apr 2009.

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И УСТРОЙСТВ ИНДУКЦИОННО-НЕПРЕРЫВНЫМ МЕТОДОМ
C-01-04

А.А.Гадючко, В.А.Киреев, J.Baumbach, E.Kallenbach
STZ Mechatronik, ФРГ, 98693, Ilmenau, Werner-von-Siemens Str. 12,
andrey.gadyuchko@stz-mtr.de

В докладе показаны возможности индукционно-непрерывного (квазистатического) метода измерения [1] на примерах измерений магнитных характеристик поляризованных и нейтральных электротехнических устройств в сборе, а так же кольцевых и стержневых образцов и деталей сложной формы. Данный метод в режиме постоянной скорости изменения потокоцепления ($d\psi/dt = \text{const}$) был реализован в измерительном приборе «MagHyst» и дополнен уникальной возможностью проведения измерений при помощи обмотки возбуждения, не используя дополнительную измерительную обмотку [2]. Такой подход существенно повысил степень автоматизации процесса испытаний, а также позволил проводить контроль и измерение магнитных характеристик электротехнических изделий с постоянными магнитами на любых стадиях процесса их изготовления.

Извечной задачей разработчиков и изготовителей является обеспечение непрерывно растущих требований к электротехническим устройствам, при их минимальной стоимости и малых габаритах. С целью снижения себестоимости изделий часто отдаётся предпочтение недорогим магнитотвёрдым и магнитомягким ферромагнитным материалам. При этом они хорошо поддаются обработке, но не обладают достаточно высокой повторяемостью магнитных свойств. Отсюда формируются следующие задачи лабораторных и промышленных магнитных измерений:

- измерение характеристик магнитных материалов на стандартных образцах для проведения электромагнитных расчётов;
- измерение магнитных характеристик на стадии входного контроля поставляемых материалов и заготовок;
- измерение на различных этапах технологического процесса изготовления деталей и монтажа электротехнических изделий.

Возможность определения магнитных характеристик электромагнитных устройств без внесения в конструкцию дополнительных измерительных обмоток, используя лишь имеющиеся в наличии обмотки возбуждения, позволяет получить измерительную информацию с целью:

- повышения качества управления электромагнитным устройством;
- непрерывного или периодического контроля состояния поляризованных и нейтральных электромагнитных устройств в процессе эксплуатации (мониторинг).

[1] В.Антонов. Средства измерений магнитных параметров материалов (1986)

[2] U.Glet, J.Baumbach. Ein neuartiges Verfahren zur Messung magnetischer Bauteile und Magnetaaktoren. 50. IWK der TU Ilmenau (2008)

**MEASURING OF MAGNETIC CHARACTERISTICS OF
C-01-04 ACTUATORS AND ELECTROMAGNETIC COMPONENTS
WITH A QUASISTATIC METHOD**

A.Gadyuchko, V.Kireev, J.Baumbach, E.Kallenbach
STZ Mechatronik, Germany, 98693, Ilmenau, Werner-von-Siemens Str. 12,
jens.baumbach@stz-mtr.de

The paper reports about the abilities of the quasistatic method [1] by measurement examples for magnetic characteristics of assembled polarized and neutral actuators, toroidal cores, rod samples and semi-finished components with irregular shape. The testing mode with a constant rate of the flux linkage change ($d\Psi/dt = \text{const}$) is implemented in the measuring device "MagHyst". The algorithm was extended with a unique function to measure the $\Psi(i)$ -characteristics only with a field coil and without an additional induction coil. This way, the time-consuming disassembly and creating of an additional measurement winding, especially for electromagnets, are not necessary. Therefore, the automation level for the measurement or test of magnetic characteristics of electrotechnical devices with and without the permanent magnets can be significantly improved at any stage of manufacturing process.

The essential task of research engineers and manufacturers is to guarantee the permanently increasing technical demands on the electrotechnical devices having low costs and small dimensions. To lower the material costs some medium-priced hard and soft magnetic materials are preferred. They usually provide a good machinability but can't satisfy the demands on the accuracy and repeatability of the magnetic properties. Hence the following tasks frequently appear in the laboratory and industrial measurements:

- measurement of the magnetic BH-characteristics on the standard samples (ring, rod) for electromagnetic dimensioning and simulation;
- test of delivered magnetic materials and semi-finished components;
- measurement and test of magnetic devices or components at different stages of manufacturing and assembly processes.

The ability to measure the magnetic characteristics only with a field coil without applying an additional induction coil gives an additional measurement information which can be used for:

- enhanced quality control of electromagnetic devices;
- continuous or periodical on-stream control of polarized and neutral actuators (monitoring).

[1] V.Antonov. Sredstva ismereniya magnitnich parametrov materialov (1986)

[2] U.Glet, J.Baumbach. Ein neuartiges Verfahren zur Messung magnetischer Bauteile und Magnetaktoren. 50. IWK der TU Ilmenau (2008)

**С-01-05 ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЖИМЕ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСА**

Д.В. Шайхутдинов, Н.И. Гобатенко, М.В. Ланкин, В.В. Боровой
Южно-Российский Государственный Технический Университет (Новочеркасский Политехнический Институт), Россия, 346400, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, d.v.shaykhutdinov@gmail.com

Разработано устройство, позволяющее, без нанесения измерительной обмотки, осуществлять измерение координат точек петли гистерезиса. Принцип работы устройства основан на явлении электрического последовательного резонанса цепи, состоящей из намагничивающей катушки, обеспечивающей перемагничивание ферромагнитного образца и последовательно соединенного с ней конденсатора переменной емкости. Подбирая величину конденсатора на совпадение фаз амплитуд напряжения питающего генератора и тока в цепи, получаем вольтамперную характеристику, которая повторяет петлю гистерезиса материала испытуемого образца.

Произведены экспериментальные исследования для изделий, отличающихся:

1. Значениями остаточной магнитной индукции;
2. Значениями коэрцитивной силы;
3. Формой петли гистерезиса.

**C-01-05 MEASUREMENT OF MAGNETIC PARAMETERS OF
PRODUCTS FROM FERROMAGNETIC MATERIALS IN
THE MODE OF THE CONSECUTIVE RESONANCE**

D.V.Shaykhutdinov, N.I.Gobatenko, M.V.Lankin, V.V. Borovoy
South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnical In-
stitute), Russia, 346400, Novocherkassk, Education street, 132,
d.v.shaykhutdinov@gmail.com

The device allowing, without drawing of a measuring winding, to carry out measurement of co-ordinates of points of a loop of a hysteresis, is developed. The principle of work of the device is based on the phenomenon of an electric consecutive resonance of the circuit, consisting of the magnetising coil, providing magnetic reversal of the ferromagnetic product and condenser of variable capacity consistently connected to it. Selecting condenser size on coincidence of phases of amplitudes of pressure of the feeding generator and a current in a circuit, we receive volt-ampere characteristic which repeats a loop of a hysteresis of a material of the examinee product.

Experimental researches are made for the products different:

1. Values of a residual magnetic induction;
2. Values coercitive forces;
3. The Form of a loop of a hysteresis.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛУРАЗОМКНУТОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЕ
C-01-06**Н.Д. Наракидзе, Н.И. Горбатенко****Южно–Российский государственный технический университет (НПИ),
Россия, 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ndaz@mail.ru**

Разработано устройство для испытания изделий из ферромагнитных материалов (ФММ) в полуразомкнутой магнитной системе (ПМС), отличительной особенностью которого является принцип измерения напряженности магнитного поля H_0 на поверхности изделия из ФММ, суть которого заключается в измерения напряженности магнитного поля H_1 и H_2 в двух точках на некотором расстоянии от поверхности изделия и производной по формуле [1]:

$$H_0 = A_1 H_1 + A_2 H_2 + A_3 \frac{dH}{dx},$$

где $\frac{dH}{dx}$ – производная, характеризует наклон характеристики $H(x)$, $A_1 \div A_3$ – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов. Производная определялась при помощи преобразователя Холла, используемого для определения H_1 , включенного по схеме приведенной в [2]. В результате экспериментов сделан вывод о том, что погрешность определения напряженности магнитного поля H_0 по двум точкам и производной не превышает 5%.

[1] Н.И. Горбатенко, М.В. Ланкин, Н.Д. Наракидзе, Д.В. Шайхутдинов, Е.В. Тришечкин. Устройство для испытания изделий из ферромагнитных материалов / Пат.2357265, Оpubл. 27.05.2009, Бюл. N 15

[2] А.Я. Шихин. Испытания магнитных материалов и систем (1984) 376

**C-01-06 THE DEVICE FOR TEST OF PRODUCTS FROM FERRO-
MAGNETIC MATERIALS IN SEMI DIRECT TO MAG-
NETIC SYSTEM**

N.D.Narakidze, N.I.Gorbatenko

**South-Russian state technical university (Novocherkassk polytechnical in-
stitute), Russia, 346428, c. Novocherkassk, s. Prosveshenia, 132,
ndaz@mail.ru**

The device is developed for test of products from ferromagnetic materials (FMM) in semi direct to magnetic system (SMS) which distinctive feature is the principle of measurement intensity a magnetic field H_0 on surface of a product from FMM which essence consists in measurements of intensity magnetic field H_1 and H_2 in two points on some distance from a surface of a product and a derivative under the formula [1]:

$$H_0 = A_1 H_1 + A_2 H_2 + A_3 \frac{dH}{dx},$$

where $\frac{dH}{dx}$ - the derivative, characterizes an inclination of characteristic $H(x)$, $A_1 \div A_3$ - the factors defined by a method of the least squares.

The derivative was defined by means of the converter of the Hall sensor used for definition H_1 , included under the scheme brought in [2]. As a result of experiments it is drawn a conclusion that the error of definition of intensity magnetic field H_0 on two points and a derivative does not exceed 5 %.

[1] N.I. Gorbatenko, M.V. Lankin, N.D. Narakidze, D.V. Shaykhutdinov, E.V. Trishechkin. The device for test of products from ferromagnetic materials / Pat.2357265, Publ. 5/27/2009, Bull. № 15

[2] A.J.Shihin. Tests of magnetic materials and systems (1984) 376

С-01-07 **БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАЗМАГНИЧИВАЮЩИМ ПОЛЕМ ПРИ ИСПЫТАНИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Н.Д. Наракидзе, Н.И. Горбатенко

**Южно–Российский государственный технический университет (НПИ),
Россия, 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ndaz@mail.ru**

Для примера проведена классификация магнитотвердых материалов (МТМ) по форме кривой размагничивания (КР) с использованием анализа главных компонент, в результате которой с выделено четыре группы МТМ. За основу взяты пятьдесят пять характеристик МТМ, известные из [1].

На основании проведенной классификации МТМ предложен адаптивно-ступенчатый алгоритм для управления размагничивающим полем, базирующийся на байесовском подходе, суть которого заключается в том, что определение принадлежности исследуемого образца к одной из групп МТМ производится по формуле Байеса [2]:

$$P_A(B_i) = \frac{P(B_i) \cdot P_{B_i}(A)}{P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \dots + P(B_n) \cdot P_{B_n}(A)},$$

где $P(B_i)$ – вероятность гипотезы, $P_{B_i}(A)$ – условная вероятность события A при выполнении гипотезы $P(B_i)$.

Это позволяет значительно сократить количество измеряемых точек на кривой размагничивания при испытании изделий из МТМ без потери точности измерения. Данный подход является универсальным и может быть применен для любых ФММ.

[1] Ю.М. Пятин. Постоянные магниты (1971) 376

[2] Н.Д. Наракидзе Алгоритм адаптивно-ступенчатого управления размагничивающим полем на основе байесовского подхода для испытания магнитотвердых материалов 34 (2008) 70

C-01-07 BAYESIAN APPROACH FOR MANAGEMENT DEMAGNETIZE A FIELD AT TEST OF FERROMAGNETIC MATERIALS

N.D. Narakidze, N.I. Gorbatenko

South-Russian state technical university (Novocherkassk polytechnical institute), Russia, 346428, c. Novocherkassk, s. Prosveshenia, 132, ndaz@mail.ru

Classification hard materials (HM) under the form of a curve demagnetize (CD) with use of the analysis of the main things a component as a result of which with it is allocated four groups HM is lead. For a basis fifty five characteristics HM known from [1] are taken.

On the basis of lead classification HM the adaptive-step algorithm for management demagnetize a field, based on Bayesian approach which essence consists that definition of an accessory of the researched sample to one of groups HM to be made under formula Bayes [2] is offered:

$$P_A(B_i) = \frac{P(B_i) \cdot P_{B_i}(A)}{P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \dots + P(B_n) \cdot P_{B_n}(A)},$$

where $P(B_i)$ - probability of a hypothesis, $P_{B_i}(A)$ - conditional probability of event A at performance of a hypothesis $P(B_i)$.

It allows to reduce considerably quantity of measured points on a curve demagnetize at test of products from HM without loss of accuracy of measurement.

[1] J.M.Pjatin. Constant magnets (1971) 376

[2] N.D.Narakidze Algorithm of adaptive-step management demagnetize a field on the basis on Bayesian approach for test hard materials 34 (2008) 70

С-01-08 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ЛИНИИ ФМР ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЖИГ

А. А. Фирсенков¹, В.А. Дубовой¹, А. Э. Козин¹, Д.А.Яськов¹, А.С. Смирнов¹, М.Ю. Гусев², Н.С. Неустров²

¹ОАО “Завод Магнетон”, Россия, 194223, Санкт-Петербург, ул Курчатова, 9, dubovoy@magneton.ru

²ЗАО «НИИ Материаловедения», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, проезд №4806, 4, стр. 2, info@niimv.ru

Известным неразрушающим способом измерения ширины ферромагнитного резонанса (ФМР) эпитаксиальных структур ЖИГ (ЭСЖИГ) является метод локализации колебаний намагниченности в неоднородном магнитном поле, иначе называемый методом “магнитной ямы”. Метод “магнитной ямы” был разработан в конце 1970-х годов в Ленинградском электротехническом институте. Ширина линии ФМР (ΔH) определяется по спектру магнитостатических колебаний в локальной области, сформированной магнитной системой (МС) [1]. Созданные на основе метода измерительные стенды были внедрены в ряде организаций СССР – ЛЭТИ, НИИ “Домен”, НИИ МЭТ (Калуга) и других. На созданные установки выпущены аттестаты, однако не проводилась экспертиза и сертификация методик.

Коллективом ОАО “Завод Магнетон” данный метод был развит и создана измерительная установка по оригинальным чертежам. Установка конструктивно отличается от действующих измерительных стендов в СПбГЭТУ и ОАО “НИИ “Феррит-Домен”. К числу отличий и достоинств данной установки относится плавно регулируемая связь, что расширяет диапазон толщин измеряемых пленок. В МС установки использован редкоземельный постоянный магнит, что позволило уменьшить габаритные размеры, применить катушки управления меньшей мощности и обеспечить более точную настройку. Методика аттестована и сертифицирована [2].

Подобные установки и методика внедрены в ЗАО “НИИ Материаловедения” и ОАО «Завод Магнетон» для контроля параметров производимых ЭСЖИГ. Взаимодействие со специалистами по выращиванию эпитаксиальных структур ЗАО “НИИ Материаловедения” позволило испытать установку на различных ЭСЖИГ и элементах на их основе (резонаторах, волноводах). Результаты измерений показали значения параметра ΔH в пределах 0.3-0.5 Э и пригодность структур для применения в спин-волновых приборах СВЧ.

Авторы выражают благодарность за помощь Н.Г. Ковшикову (СПбГЭТУ) и Г.С. Майорову.

[1] Отчет СПбГЭТУ по НИР “Физико-техническое обоснование и исследование метода измерения ширины линии ФМР эпитаксиальных пленок ЖИГ», ФЭТ-165, Санкт-Петербург, 2008г.

[2] МВИ 17-2008 Методика выполнения измерений ширины линии ферромагнитного резонанса эпитаксиальных структур ЖИГ и волноводных элементов на их основе, Санкт-Петербург, 2008г

C-01-08 FMR LINEWIDTH MEASUREMENT TECHNIQUE IMPLEMENTATION FOR YIG EPITAXIAL STRUCTURES

**A.A. Firsenkov¹, V.A. Dubovoy¹, A. E. Kozin¹, D.A.Yaskov¹,
A.S. Smirnov¹, M.Yu. Gusev², N.S. Neustroev²**

**¹JSC “Magnetron”, 9, Kurchatova st., 194223, Saint-Petersburg, Russia,
dubovoy@magnetron.ru**

**²Research Institute of Material Science and Technology, Building 4/2,
pr. 4806, 124460, Zelenograd, Moscow, Russia, info@niimv.ru**

The localization of magnetization oscillations in inhomogeneous magnetic field is a well-known nondestructive method of measuring the FMR linewidth in LPE-grown YIG structures. The method is also known as a “magnetic well method”. It was developed in Leningrad Electrotechnical Institute (LETI) in the late seventies. FMR linewidth (ΔH) is determined by magnetostatic wave spectra in the local area formed by the magnetic system (MS) [1]. Measurement stands based on this technique were used by several USSR organizations, such as, LETI, “Domen” Research Institute (RI), RI of Electronic Engineering Materials (Kaluga) and others. However, their measurement systems have not been certificated.

JSC Magnetron (development group) improved the technique and designed the original measurement system. It differs significantly from the existing measurement stands of Saint-Petersburg Electrotechnical University (SpbGETU) and JSC “RI Ferrite Domen”. The bounds of the FMR linewidth measurements were extended by a smooth adjustment of variable coupling. The using of rare-earth permanent magnet in MS allows to reduce the system dimensions, to make use of low-power magnetizing coils and to improve the magnetic field tuning. Measurement technique was certificated [2].

Similar devices and measurement technique are employed at the RI of Material Science and Technology (RIMST, Zelenograd) and JSC Magnetron to control the production parameters of LPE-grown YIG structures control. Close collaboration with RIMST experts in epitaxy growth process allowed to test the measurement system with different epitaxial structures and individual elements on their basis (resonators and waveguides). ΔH parameter value was in the range from 0.3 to 0.5 Oe thus showing that such epitaxial structures can be used in spin-wave microwave devices.

We would like to thank Dr. N.G. Kovshikov (SpbGETU) and G. S. Mayo-rov (JSC Magnetron).

[1] SPbGETU Report on research work « Physicotechnical basis and research of the FMR linewidth measurement method for epitaxial YIG films», FET-165, Saint-Petersburg, 2008 (in Russian).

[2] Measurement Procedure Manual 17-2008 “Metering procedure of FMR linewidth in epitaxial YIG structures and waveguide elements on their basis”, Saint-Petersburg, 2008 (in Russian).

С-01-09С АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ПЛАТ-ФОРМЕ NATIONAL INSTRUMENTS

Н.И. Горбатенко, В.В. Гречихин, Н.М. Кьонг
Южно-Российский государственный технический университет, Россия, 346428, Новочеркасск, Просвещения ул., 132,
cuong.tung@gmail.com

Решение проблемы повышения качества постоянных магнитов (ПМ) связано с созданием методов и технических средств получения достоверной измерительной информации о магнитных свойствах ПМ, достаточной для эффективного управления производством для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изделий. Существующие средства испытаний не в полной мере удовлетворяют предъявляемым требованиям, так как в большинстве своем предназначены для реализации физического эксперимента, возможности которого ограничены нелинейной зависимостью магнитных свойств ПМ от их формы, габаритов, уровня внешних воздействий, а также сложностью, а чаще невозможностью, особенно в цеховых условиях прямых измерений магнитных величин, соответствующих наиболее информативным характеристикам и параметрам. Для решения проблемы необходимо использовать технические средства, реализующие методы натурно-модельных испытаний [1]. В этом случае экспериментальное определение магнитных характеристик и параметров объединяется с моделированием магнитных состояний испытуемых ПМ в единый натурно-модельный измерительный процесс. Разработка таких средств испытаний сложная и трудоемкая задача. Она, в основном обусловлена, трудностями сопряжения программной и аппаратной части, а также создания программного комплекса. Применение технологии National Instruments позволило создать аппаратно-программный комплекс для испытания ПМ, отвечающий указанным требованиям. Аппаратная часть состоит из управляемого источника тока, намагничивающей системы, механизма подачи и разбраковки испытуемых ПМ; блока первичной обработки информации, содержащего преобразователи магнитной индукции и напряженности, усилителей каналов измерения магнитной индукции и напряженности магнитного поля; устройства ввода-вывода NI 6251 с USB интерфейсом, персонального компьютера. Программный комплекс реализован в среде графического программирования LabVIEW и обеспечивает интегрированную среду для сбора и обработки данных о магнитном состоянии ПМ, моделирования его изменений под воздействием предстоящей технологической операции, а также управления работой средств автоматизации процесса испытаний.

[1] Горбатенко Н.И. Натурно-модельные испытания изделий из ферромагнитных материалов. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 392 с.

**C-01-09C HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR TEST OF
PERMANENT MAGNETS FOR PLATFORM NATIONAL
INSTRUMENTS**

N.I.Gorbatenko, V.V.Grechikhin, N.M.Kyong
South-Russia State Technical University, Russia, 346428,
Novocherkassk, Prosvescheniya Str., 132, cuong.tung@gmail.com

The solution of a problem of improvement of quality of constant magnets (PM) is connected with creation of methods and hardware components of reception of the authentic measuring information on magnetic properties PM, sufficient for efficient control manufacture for maintenance of demanded operating characteristics of products. Existing means of tests not to the full meet shown demands as in the majority are intended for implementation of the physical experiment which possibilities are restricted by nonlinear dependence of magnetic properties PM on their form, size, level of external affecting, and also by complexity, and more often impossibility, especially in shop conditions of direct measurements of the magnetic magnitudes matching to the most informative characteristics and parameters. For the problem solution it is necessary to use the hardware components realizing methods of naturno-modeling tests [1]. In this case experimental definition of magnetic characteristics and parameters is merged with modeling of magnetic conditions of examinees PM in uniform naturno-modeling measuring process. Working out of such means of tests a difficult and labour-consuming problem. It, in the core is caused, difficulties of mating programs and the hardware, and also creation of a programs complex. Application of production engineering National Instruments has allowed creating a hardware and software complex for test PM, meeting the specified demands. The hardware consists of the operated current source, magnetizing system, a delivering gear and grading of examinees PM; the block of a roughing-out of the information, containing converters of induction density and stress level, amplifiers of channels of measurement of induction density and magnetic intensity; input-output devices NI 6251 with USB interface, the personal computer. The programs complex is realized in the environment of graphical programming LabVIEW and provides the integrated medium for gathering and a data handling about magnetic condition PM, modeling of its changes under the influence of a forthcoming production operation, and also management of work of means of automation of process of tests.

[1] Gorbatenko N.I. Naturno-modeling tests of products from ferromagnetic materials. – Rostov on/D.: SKNTS VSH, 2001. – 392 p.

C-01-10C **ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ
В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 80 – 1400 К**

О.Ф.Демиденко, А.И.Галяс, Г.И.Маковецкий, К.И.Янушкевич
ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», 220072, Минск,
П.Бровки, 19, kazimir@ifftp.bas-net.by

В лаборатории Физики Магнитных Материалов ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» разработана методика [1] и создан термостат для установки по изучению температурных зависимостей удельной намагниченности и магнитной восприимчивости пондеромоторным методом [2]. Термостат позволяет проводить измерения в диапазоне температур 80 – 1400 градусов Кельвина в непрерывном режиме (без переустановки образца, изменений в узле образца: замены комплекующих термостата, держателей и т.п.). Интервал температур измерений перекрывает в высокотемпературной области диапазон температур Кюри известных постоянных магнитов, температур Кюри и Нееля всех магнитоупорядоченных веществ. Используя тангенс угла наклона зависимости обратной магнитной восприимчивости $1/\chi=f(T)$, который наиболее добротнo определяется при измерениях до высоких температур, установка позволяет с большой точностью определять эффективный магнитный момент антиферромагнетиков. По желанию заказчика измерения можно проводить в любой газовой среде. При изучении наноразмерных порошков и объектов, чувствительных к окислительным процессам, измерения, как правило, проводятся в условиях вакуума (10^{-4} мм.рт.ст.), либо в инертной газовой среде. Точность измерений величин удельной намагниченности $\pm 0,005 \text{ A}\cdot\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$ ($\text{Гс}\cdot\text{см}^3\cdot\text{г}^{-1}$, Emu/g); удельной магнитной восприимчивости $\pm 10^{-11} \text{ м}^3\cdot\text{кг}^{-1}$. Чувствительность установки столь высока, что позволяет наблюдать и измерять восприимчивость диамагнитных сред. Масса объектов, обладающих ферро-, ферри-упорядочением магнитных моментов, при измерениях удельной намагниченности может быть мала и заключена в пределах $3\cdot 10^{-3} - 10^{-2}$ грамма. При измерениях магнитной восприимчивости антиферромагнетиков, парамагнетиков и диамагнетиков масса образцов желательнo должна иметь величину 0,5 – 1,0 грамм.

- [1] Янушкевич К.И. Методика выполнения измерений намагниченности и магнитной восприимчивости. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. МВИ. МН 3128-2009, БелГИМ, Минск, 2009.- 19с.
[2] ГОСТ 24450-80 "Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения". (Постановление Госкомстата СССР от 28 ноября 1980 г. N 5672)

**C-01-10C MEASUREMENTS OF SPECIFIC MAGNETIZATION IN
80 - 1400 K TEMPERATURE RANGE**

O.F. Demidenko, A.I. Galyas, G.I. Makovetskii, K.I. Yanushkevich
SSPA "MSC of the NASB", P. Brovka Str. 19, 220072 Minsk, Belarus
kazimir@ifttp.bas-net.by

In the laboratory of magnetic materials physics SA "Materials Science Centre of NASB" is developed the technique [1] and is created thermostat for the apparatus on the study of the specific magnetization and magnetic susceptibility temperature dependences by the ponderomotive method [2]. Thermostat makes it possible to carry out the measurements in the temperature range 80 - 1400 degrees of Calvin's in the continuous regime (without the reinstallation of sample, changes in the sample unit: the replacement completing of thermostat, holders, etc). The measurements temperature range overlaps in the high-temperature region the Curie temperature range of known permanent magnets, Curie and Neel temperatures of all magnetically ordered substances. Using a slope angle tangent of the reverse magnetic susceptibility $1/\chi=f(T)$ dependence, which most high-quality is determined at the measurements to high temperatures, apparatus makes it possible to determine the effective magnetic moment of antiferromagnets with the high accuracy. At the customer wish the measurement can be carried out in any gaseous medium. During the nano-dimensional powders and objects study, sensitive to the oxidation processes, measurements, as a rule, are conducted under the vacuum conditions (10^{-4} mm Hg), or in the inert gaseous medium. Measurements accuracy of the specific magnetization values is $\pm 0,005 A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$ ($Gs \cdot cm^3 \cdot g^{-1}$, Emu/g); specific magnetic susceptibility – $\pm 10^{-11} m^3 \cdot kg^{-1}$. The apparatus sensitivity is so high, which makes it possible to observe and to measure the diamagnetic media susceptibility. The mass of the objects, which possess the ferro-, ferri- magnetic moments ordering, at the specific magnetization measurements of can be small and concluded within limits of $3 \cdot 10^{-3} - 10^{-2}$ grams. At the magnetic susceptibility measurements of antiferromagnets, paramagnetic materials and diamagnetics the samples mass desirably must have a value 0,5 - 1,0 grams.

[1] Yanushkevich K.I. Procedure of the magnetization and magnetic susceptibility measurements carrying out. System of the guarantee of measurements unity of Republic of Belarus. MVI.MN.3128-2009, BelGIM, Minsk, 2009. – 19 p.

[2] GOST 24450-80 "Control nondestructive magnetic. Terms and determination. (Decision of Goskomstat of the USSR dated November 28, 1980. N 5672)

**C-01-11C СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ МАГНИТ-
НЫХ СЕПАРАТОРОВ**

К.А. Андреев, А.С. Перминов, А.С. Старикова

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
Akirilla@mail.ru**

Для получения эксплуатационных характеристик стержневых магнитных сепараторов (далее СМС), их сдачи-приемки и испытаний для совершенствования конструкции, разработан и изготовлен испытательный стенд, позволяющий измерить параметры работы СМС в условиях имитирующих условия эксплуатации.

Стенд состоит из: бункера для исходной смеси, содержащей ферромагнитную примесь, расположенный на электронных весах, показания которых через модем поступают на компьютер фиксирующий веса 2 раза в секунду. При открытии заслонки регулирующей скорость подачи сырья на сепаратор, исходное сырье падает на грохот, обеспечивающий равномерное распределение падающего сырья, затем через рукав попадает в рабочую зону стержневого магнитного сепаратора. Ферро-магнитные примеси (далее ФМП) задерживаются на магнитных стержнях, а очищенное сырье накапливается в бункере, также находящегося на весах, показания с которых также фиксируются компьютером. При перекрытии заслонки срабатывает датчик и автоматически останавливает заполнение матрицы измерений.

Для очистки от накопленной ФМП из рабочей зоны сначала выдвигается СМС, а затем магнитные системы стержней выдвигаются из защитных оболочек. ФМ падает с оболочки в бункер, находящийся на весах 20, взвешивается и результат заносится в компьютер.

Коэффициент сепарации измеряется двумя способами. По массе ФМП задержанной к определенному моменту на магнитных стержнях и по содержанию примеси в пробе очищенного сырья, отобранной в определенный момент. Конструкция сепаратора позволяет производить оба измерения с частотой раз в пять секунд или измерение вторым способом сколько угодно часто.

В результате работы компьютером формируется графики зависимости от времени скорости просыпания исходного сырья, накопления ФМП на магнитных стержнях, а также убывания коэффициента сепарации от времени работы или от массы сепарированной ФМП. В результате испытаний стенда показано, что данные графики являются объективными эксплуатационными характеристиками конструкции и состояния стержневого магнитного сепаратора.

[1] G. Gillet and V. Bureau, "Separation Magnetique: Applications," Mines Carrieres, vol. 74, pp. 95-111, Oct. 1992.

C-01-11C STAND FOR TEST PIVOTAL MAGNETIC SEPARATOR

K.A. Andreev, A.S. Perminov, A.S. Starikova

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, AkirillA@mail.ru**

For reception of the field-performance datas pivotal magnetic separator (hereinafter PMS), their delivery-acceptance and test for improvement of the designs, is designed and made test-bed, allowing measure the parameters of the work PMS in condition of the imitating condition to usages.

The Stand consists of: bunker for source mixture, containing ferromagnetic admixture, located on electronic weight, evidences which through modem enter on computer fixing weight 2 times at second. At opening of the damper adjusting velocity of the presenting cheese on separator, source raw material falls on boom, providing even distribution falling cheese, then through sleeve falls into worker zone pivotal magnetic separator. Ferro- magnetic admixture (hereinafter FMA) detain on magnetic pivots, but cleaned raw material is accumulated in bunker, also residing on weight, evidences with which are also fixed by computer. At overlapping of the damper operates the sensor and automatically stops filling the matrix of the measurements.

For peelings from dug FMA from worker of the zone is first brought forth SMS, but then magnetic systems pivots are brought forth from defensive shell. FM falls with shells in bunker, residing on weight 20, is weighted and result is brought in computer.

The Factor separation is measured two ways. On mass FMP delayed to determined moment on magnetic pivots and on contents admixture in test cleaned cheese, selected in determined moment. The Design of the separator allows to produce both measurements with frequency at five seconds once or measurement by second way is how pleased often.

As a result of work by computer is formed graphs to dependencies from time of the velocities awakes source cheese, accumulations FMA on magnetic pivots, as well as decrease the factor separations from time of the work or from mass separations FMA. As a result of test the stand is shown that given graphs are an objective field-performance datas to designs and conditions of the pivotal magnetic separator.

[1] G. Gillet and V. Bureau, "Separation Magnetique: Applications," Mines Carrières, vol. 74, pp. 95-111, Oct. 1992.

C-01-12C ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОМАТЕРИАЛОВ

К.А. Андреев, А.С. Перминов, А.С. Старикова

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4,
Akirilla@mail.ru**

Для сдачи-приемки и контроля состояния магнитных систем (далее МС методом визуализации магнитного поля, при помощи полимерного материала с магнитно-чувствительными наночастицами, опробовано применение особо чувствительного листового полимерного материала содержащего магнитно-чувствительные наночастицы. Принцип работы магнитной пленки основан на том, что в присутствии магнитного поля она становится светлее или темнее благодаря ориентации наночастиц в магнитном поле [1]. В зависимости от ориентации и интенсивности магнитного поля лист изменяет свой цвет и прозрачность. То есть, приложив его к защищенной кожухом магнитной системе, мы получаем изображение магнитного поля, на котором хорошо видны постоянные магниты, порядок и место их расположения и все существенные дефекты (сколы, неправильное ориентирование и т.п.). Пленка становится темнее, когда линии магнитного поля перпендикулярны поверхности. Пленка становится светлее, когда линии магнитного поля горизонтальны поверхности, т. е. расположены вдоль нее. На удалении до 1 мм пленка позволяет надежно идентифицировать на магнитной системе из высокоэнергетических магнитов Nd-Fe-B дефекты размером 0,5 мм. От аналогичных материалов пленка отличается высоки разрешением и четкостью изображения, формированием широкого спектра полутонов, неограниченным сроком службы, возможностью «фиксации» изображения магнитного поля.

Методика, внедрена на Ярославском заводе технологической оснастки и позволяет неквалифицированному персоналу в течение 5 минут определить, например, на серийном стержневом магнитном сепараторе, наличие или отсутствие дефектов сборки или механических повреждений скрытых внутри магнитного стержня и отклонения в распределении магнитного поля от паспортного.

[1] Gubin S.P., Yu. I. Spichkin, Yu. A. Koksharov, G. Yu. Yurkov, A. V. Kozinkin, T. I. Nedoseikina, M. S. Korobov and A. M. Tishin Magnetic and structural properties of Co nanoparticles in a polymeric matrix – J. Magn. Mater. 265 (2003) 234 – 242.

C-01-12C **VISUAL CHECKING THE MAGNETIC SYSTEMS WITH
USING NANOMATERIAL**

K.A. Andreev, A.S. Perminov, A.S. Starikova
State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, AkirillA@mail.ru

For delivery-acceptance and checking the condition of the magnetic systems (hereinafter MS method to visualizations of the magnetic field, with the help of polymeric material with magnetic- sensitive nanoparticle, is tested using specifically sensitive sheet polymeric material containing magnetic- sensitive nanoparticles. The Principle of the functioning (working) the magnetic film is founded on that that in whiteness of magnetic field she becomes the lighting or darking due to orientation nanoparticles in magnetic field [1].

Depending on orientation and intensities of the magnetic field sheet changes its colour and transparency. That is to say, having enclosed him(it) to protected by cover to magnetic system, we get the scene of the magnetic field, on which are well seen constant magnets, order and place of their location and all essential defects (debris, wrong orientation etc.). The Film becomes the darking, when lines of the magnetic field to perpendicular surface. The Film becomes the lighting, when lines of the magnetic field to horizontal surfaces, t. e. are located along it. On removing before 1 mm film allows safely to identify on magnetic system from high-energy magnet Nd-Fe-B defects by size 0,5 mm. high permit differs From similar material film and clearness of the scene, shaping the broad spectrum halftone, unlimited lifetime, possibility "act of concentration of" scene of the magnetic field.

The Methods, is introduced on Yaroslavskom plant of the technological rig and allows the unskilled personnel for 5 minutes to define, for instance, on serial core magnetic separator, presence or absence defect assemblies or mechanical damages hidden inwardly magnetic core and deflections in sharing the magnetic field from passport.

[1] Gubin S.P., Yu. I. Spichkin, Yu. A. Koksharov, G. Yu. Yurkov, A. V. Kozin, T. I. Nedoseikina, M. S. Korobov and A. M. Tishin Magnetic and structural properties of Co nanoparticles in a polymeric matrix – J. Magn. Magn. Mater. 265 (2003) 234 – 242.

Секция D

**РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ.
ПРИМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

Section D

**CALCULATION AND SIMULATION OF MAGNETS SYSTEMS.
APPLICATION OF PERMANENT MAGNETS**

D-01-01 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ФОКУСИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОЩНЫХ КЛИСТРОНОВ С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

А.Г. Дормидонтов, С.С. Дроздов
ФГУП «Спецмагнит», Россия, Москва, 127238,
Дмитровское ш., 58, s-magnet@mail.ru

В настоящее время широко развиты методы моделирования и расчета электронных пучков и магнитных систем проектируемых электровакуумных приборов [1, 2]. Однако, осталась проблема выбора материала магнита для конкретного использования. Наиболее энергоемким материалом является Fe-Nd-B. С его помощью решены многие проблемы фокусировки и компоновки целого ряда современных приборов. Но малая коррозионная стойкость и относительно высокая зависимость магнитных параметров от перепада рабочих температур накладывает совершенно определенные ограничения. Справедливости ради необходимо отметить, что последняя проблема усилиями технологов частично нашла свое решение. Но, несмотря на это интерес производителей вернулся к хорошо известному материалу, свободному от отмеченных недостатков последнего, но более дорогого в исполнении: SmCo_5 (KC37) и $\text{Sm}_2(\text{Co,M})_{17}$ (KC25).

В данной работе представлены результаты проектирования однореверсной магнитной фокусирующей системы для мощного клистрона, работающего с воздушным охлаждением. В качестве магнитного материала нами выбран сплав KC25ДЦ со стандартными свойствами. Магнитная система вдоль оси прибора имеет переменные сечения. Величина поперечной составляющей магнитного поля в ней минимальна. Система спроектирована для крупносерийных поставок ее вес 2,3 кг.

Литература:

1. И.И. Голеницкий. Электронно-оптические системы электровакуумных приборов СВЧ и методы их расчета. Сб. лекций в 4-х томах под редакцией Королева А.Н. ФГУП «НПП «Исток» 2004 г.
2. А.А. Блохин, С.И. Молоковский. Универсальная программа полевого анализа двумерных магнитных полей. 6-ой семинар по численным методам решения задач электронной оптики. Рязань. 1978 г. РРТИ.

**D-01-01 PROJECTION OF MAGNETIC FOCALIZING SYSTEMS
FOR POWERFUL KLYSTRONS AIR-COOLED**

A.G. Dormidontov, S. S. Drozdov
Federal State Unitary Enterprise “Spetsmagnet”
Russia, 127238, Moscow, Dmitrovskoye sh. 58, s-magnet@mail.ru

Now methods of simulation and calculation of electronic bundles and magnetic systems of designed electrovacuum gears [1, 2] are widely advanced. However, there was a problem of a choice of a material of a magnet for concrete use. The most power-intensive material is Fe-Nd-B. With his help many problems of focussing and arrangement of a lot of the modern gears are solved. But the small corrosion stability and rather high association of magnetic parameters on overfall of working temperatures superimposes completely particular limitations. For the sake of justice it is necessary to mark, that last problem gains of process men has in part found the solution. But, not looking on it interest of producers has returned to a well-known material, the free from the marked deficiencies of the last, but more expensive in fulfilment: SmCo_5 and $\text{Sm}_2(\text{Co}, \text{M})_{17}$.

In the given operation outcomes of projection one reversible magnetic focusing system for the powerful klystron working air-cooled are submitted. As a magnetic medium we select alloy KC25DZ with standard properties. The magnetic system along an axis of a gear has variable cuts. Magnitude transversal component a magnetic field in it is minimum. The system is designed for business lot deliveries its weight of 2,3 kg.

The literature:

1. I. I. Golenitsky. Electron-optical systems electrovacuum gears of a very high frequency and methods of their calculation. Cours lectures in 4 volumes under edition Korolev A. N.FSUE “NPP “Istok”. 2004.
2. A. A. Blohin, S. I. Molokovskij. The universal program of an analysis in the field of bivariate magnetic fields. 6th seminar under numerical methods of problem solving of electronic optics. Rjazan. 1978. RRTI.

D-01-02 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Е.И. Каневский

**ФГУП «НПП «Исток», 140190, г. Фрязино, Московской области,
istkor@elnet.msk.ru**

За критерий оптимальности по массогабаритным параметрам систем с постоянными магнитами (СПМ) принято произведение σf :

$$\sigma f = (BH)_{\max} V_m / B_3^2 V_3, \quad (1)$$

где: σ – коэффициент рассеяния СПМ,

f – коэффициент потерь магнитодвижущей силы (МДС) в СПМ; $(BH)_{\max}$ – максимальное энергетическое произведение используемого в СПМ магнитотвёрдого материала (МТМ); V_m – объём МТМ в СПМ; B_3 – магнитная индукция в центре рабочего зазора СПМ; V_3 – объём рабочего зазора СПМ.

По физическому смыслу это величина, обратная КПД магнитной энергии используемого в СПМ МТМ.

Экспериментально определено, что для фиксированных значений V_3 и V_m значение σf имеет минимальное значение σf_{\min} для определённого соотношения $L_m / \sqrt{S_m}$, где L_m – длина магнитов в СПМ, S_m – площадь поперечного сечения магнита в нейтральном сечении. СПМ, имеющая σf_{\min} , является оптимальной по конструкции, магниты в ней имеют рабочую точку, лежащую в области максимума магнитной энергии используемого МТМ.

Обследованы типы СПМ, наиболее широко используемые в электровакуумных приборах (ЭВП) сверхвысокочастотного диапазона длин волн (СВЧ). Для них экспериментально определены и построены зависимости σf_{\min} от относительной длины рабочего зазора $L_3 / \sqrt{S_3}$, где L_3 – длина рабочего зазора, S_3 – площадь поперечного сечения рабочего зазора.

В (1) входят величины, измеряемые стандартными средствами, поэтому легко определить оптимальность любой конкретной СПМ, сравнив полученное для неё значение σf с графиком зависимости $\sigma f_{\min} = f(L_3 / \sqrt{S_3})$ для рассматриваемого типа СПМ.

По графикам зависимости $\sigma f_{\min} = f(L_3 / \sqrt{S_3})$ для разных типов СПМ можно определить области преимущественного применения того или иного типа СПМ.

Сравнение графиков зависимости $\sigma f_{\min} = f(L_3 / \sqrt{S_3})$ для различных типов СПМ может явиться одним из первых шагов на пути создания методов синтеза СПМ.

Коген-Далин В.В. Критерии оптимальности и задачи оптимизации систем с постоянными магнитами для приборов СВЧ // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1973 – вып. 9, - с. 12-23.

D-01-02

OPTIMUM DETERMINATION FOR MAGNET SYSTEMS DESIGNS

E.I. Kanevsky

FSUE RPC 'Istok', 141190, Fryazino, Moscow region, Vokzal'nyy st., 2a
istkor@elnet.msk.ru

The optimum on weight and size for permanent magnet systems is defined from the equation:

$$\sigma f = (BH)_{\max} V_m / B_g^2 V_g, \quad (1)$$

where: σ – scattering factor in permanent magnet systems (PMS),

f – loss factor of magnetomotive force (MMF) in PMS,

$(BH)_{\max}$ – maximum magnetic energy of magnetic hard materials (MHM) used in PMS,

V_m – MHM volume in PMS,

B_g – magnetic induction in the center of PMS gap,

V_g – PMS gap volume.

From physical point of view it is a value reciprocal to the efficiency of magnet energy of MHM used in PMS.

It is defined experimentally that for constant values V_g and V_m , σf has a minimum value σf_{\min} for a certain relation $L_m / \sqrt{S_m}$, where L_m is magnet lengths in PMS, S_m is a magnet cross-section square in neutral cross section. PMS having σf_{\min} value is the optimal in design, the magnets in it have working point lying in the field of the magnet energy maximum of MHM used.

PMS types most widely used in microwave electrovacuum devices have been investigated. The dependences σf_{\min} versus gap relative length $L_g / \sqrt{S_g}$, where L_g is the gap length and S_g is the gap cross-section square, were experimentally determined and plotted.

The equation (1) includes the values which can be measured by standard means, therefore it is easy to define the optimum for any separate PMS having compared σf , obtained for it, with $\sigma f_{\min} = f(L_g / \sqrt{S_g})$ curve for PMS type to be considered. Examine PMS is not optimized, if point of value σf is disposition higher curve of dependence $\sigma f_{\min} = f(L_g / \sqrt{S_g})$.

Comparing $\sigma f_{\min} = f(L_g / \sqrt{S_g})$ curves for different types of PMS one can define the fields of preferential application for any type of PMS.

The comparison of $\sigma f_{\min} = f(L_g / \sqrt{S_g})$ dependencies for different types of PMS can become one of the first steps towards creating PMS synthesis methods.

Коген-Далин В.В. Критерии оптимальности и задачи оптимизации систем с постоянными магнитами для приборов СВЧ // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1973 – вып. 9, - с. 12-23.

**ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ МАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ
D-01-03 СТУПЕНЧАТОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ УНИПО-
ЛЯРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ МАГНИТОВ**

**В.Н. Бекетов¹, В.Н. Москалёв¹, А.В. Огурцов¹, Д.В. Таранов¹,
С.В. Таскаев², В.Д. Бучельников², И.В. Бычков², Е.И. Каневский³**
¹ООО «ПОЗ-Прогресс», г. Верхняя Пышма
²Челябинский государственный университет, г. Челябинск
³ОАО «Исток», г. Фрязино

В [1] описана рекордная магнитная система с индукцией $B=4,3$ Тл в рабочем зазоре 2,8 мм между полюсными наконечниками. Система сложной конструкции состояла из трёх слоёв магнитотвёрдого материала, включающих 192 элементарных объёма, намагниченных по принципу Битера [2,3]. Новые униполярные монолитные кольцевые магниты, разработанные в ООО "ПОЗ-Прогресс" [4], позволяют значительно упростить конструкцию и сборку систем с однонаправленным полем.

В [5] описана магнитная система из трёх вложенных друг в друга слоёв дисковых и кольцевых магнитов Nd-Fe-B с $B_r \sim 1.22$ Тл. Магнитная индукция в рабочем зазоре 11,6 мм составила без полюсных наконечников $1,82 \div 1,90$ Тл. При сведении полюсов до зазора 2,8 мм индукция возросла до 2,8 Тл. Простая конструкция полюса включала ступенчатый пакет из трёх дисковых аксиальных магнитов, вложенных в ступенчатый набор из трёх униполярных кольцевых магнитов. Масса магнитов одного полюса составила 1,9 кг. Общая масса двух полюсов и внешнего магнитопровода составила 10,5 кг. Улучшенный вариант магнитной системы аналогичной конструкции имеет следующие характеристики: габаритные размеры - 96×100 мм, общая масса системы - 4,1 кг, магнитов - 2,05 кг, рабочий зазор - 18 мм, $B=(1,4 \pm 0,1)$ Тл без наконечников. Обе системы предназначены для систем магнитного охлаждения. Численный расчёт обеих систем дал хорошее совпадение с измерениями магнитного поля в зазоре.

Изготовлены опытные меры магнитной индукции для калибровки тесламетров с $B=1,0 \pm 0,2$ Тл с использованием униполярных магнитов.

[1] F. Bloch, et al. IEEE Trans. on Magnetics. v.34 №5 September 1998. pp. 2465-2468.

[2] Bitter F. Rev. Sci. Instr. 1936 vol. 7. p. 497.

[3] Кольм Г., Фриман А. Сильные магнитные поля. УФН, 1966 т.88. с. 703-723.

[4] Бекетов В.Н., Москалёв В.Н. и др. Новые униполярные и многополюсные кольцевые магниты. МКПМ 17. Тезисы. Сентябрь 2009 г.

[5] S.V. Taskaev, V.D. Buchelnikov, I.V. Bychkov, V.N. Beketov, D.V. Taranov. The 3rd International Conference of IIR on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Des Moines, Iowa, U.S.A., 2009.

**D-01-03 STEPPED TYPE AXISYMMETRICAL MAGNETIC
SYSTEMS WITH THE APPLICATION OF UNIPOLAR
ANNULAR MAGNETS**

**V.N. Beketov¹, V.N. Moskalev¹, A.V. Ogurtsov¹, D.V. Taranov¹
S.V. Taskaev², V.D. Buchelnikov², I.V. Bychkov², E.I. Kanevsky³**
¹LLC “POZ- Progress”, V. Pyshma
²Chelyabinsk state university, Chelyabinsk
³JSC “Istok”, Fryazino

In [1] is described record magnetic system with the induction of $B=4,3$ T in the working clearance 2,8 mm between the pole pieces. The system of complex construction consisted of three layers of magnetically hard material, which include 192 volume elements, magnetized according to the principle of Bitter [2,3]. The new unipolar monolithic annular magnets, developed in LLC “POZ-Progress” [4], make it possible to considerably simplify construction and assembling of systems with the unidirectional field.

In [5] is described the magnetic system of three inserted in each other of layers disk and annular magnets Nd-Fe-B from $B\sim 1,22$ T. Magnetic induction in the working clearance 11,6 mm comprised without the pole pieces of $1,82\div 1,90$ T. With information of poles to the clearance 2,8 mm the induction grew to 2,8 T. Simple pole construction included stepped packet of three disk axial magnets, inserted in the stepped collection of three unipolar annular magnets. The magnet weight of one pole was 1,9 kg. The overall mass of two poles and external magnetic circuit was 10,5 kg. The improved version of the magnetic system of analogous construction has the following characteristics: overall dimensions - $\sim 96\times 100$ mm, the overall mass of system - 4,1 kg, magnets - 2,05 kg, working clearance - 18 mm, $B= (1,4\pm 0,1)$ T without pole pieces. Both systems are intended for the systems of magnetic cooling. Numerical calculation of both systems gave a good agreement with the measurements of magnetic field in the clearance.

Are prepared the experimental measures for magnetic induction for calibrating of teslameters from $B=1,0\pm 0,2$ T with the use of unipolar magnets.

[1] F. Bloch, at al. IEEE Trans. on Magnetics. v.34 №5 September 1998. pp. 2465-2468.

[2] Bitter F. Rev. Sci. Instr. 1936 vol. 7. p. 497.

[3] Kolm G., Freeman A. Strong magnetic fields. UFN, 1966 88. p. 703-723.

[4] Beketov V.N., Moskalev V.N. et al. New unipolar and multipolar annular magnets. ICPM XVII. Theses. September 2009.

[5] S.V. Taskaev, V.D. Buchelnikov, I.V. Bychkov, V.N. Beketov, D.V. Taranov. The of 3rd Of international Of conference of OF IIR on Of magnetic Of refrigeration at Of room Of temperature, Des Moines, Iowa, U.S.A., 2009.

D-01-04 ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАМАГНИЧЕННЫХ СТРУКТУР В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

П.А. Дергачев, П.А. Курбатов

**Московский энергетический институт (Технический университет),
Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14,
info@Pavel-Dergachev.com, KurbatovPA@mpei.ru**

Намагнитенные структуры представляют собой композицию малых частиц из магнитотвердых и магнитомягких материалов. Они намагнитиваются определенным образом для конкретной электрической машины с целью получения оптимального пространственного распределения магнитного поля в зазоре электрической машины. Для их изготовления, возможно, применять технологию магнитопластов с изотропными магнитными материалами. В работе исследованы композиции, у которых в качестве магнитотвердого материала использован сплав NdFeB, в качестве магнитомягкого – железо Армко.

Построено две модели композиционных материалов. В первой модели материал рассматривается как совокупность отдельных областей со своими магнитными характеристиками. Во второй модели композиционный материал представлен одной эквивалентной нелинейной характеристикой. Рассчитаны магнитные характеристики композиций с различными объемными соотношениями материалов и немагнитных промежутков. Результаты расчетов сопоставлены с данными экспериментальных исследований.

Для определения наилучшей намагнитенности ротора электрической машины из композиционного материала сформулирована оптимизационная задача с несколькими специальными критериями, обеспечивающими создание в зазоре машины магнитного поля максимальной напряженности, и одновременно синусоидальной формы по углу. Для решения оптимизационной задачи использовался известный среднеквадратичный метод оптимизации – метод Левенберга-Марквардта.

В результате работы получены сравнительные характеристики электрических машин с традиционным ротором с постоянными магнитами и при использовании композиционного материала. Выделены основные преимущества композиционных материалов, составленных из частиц магнитотвердых и магнитомягких материалов: более легкое намагнитивание и возможность изготовления сложных магнитных структур; меньшее магнитное сопротивление магнитному потоку по отношению только к магнитотвердому материалу; возможная экономия магнитотвердых материалов при создании полей в малых немагнитных зазорах.

D-01-04 APPLICATION OF COMPOSITE MAGNETIZED STRUCTURES IN ELECTRICAL MACHINE

P.A. Dergachev, P.A. Kurbatov

**Moscow Power Engineering Institute (Technical University),
Krasnokazarmennaya st, 14, Moscow, Russia, 111250,
info@Pavel-Dergachev.com, KurbatovPA@mpei.ru**

Magnetised structures represent a composition of small particles from hard magnetic material and soft magnetic material materials. They definitely magnetized for the certain electrical machine for the purpose of reception of optimal spatial distribution of a magnetic field in a gap of the electric machine. For their manufacturing, it is probably to apply technology of plastomagnet with isotropic magnetic materials. In a work compositions are investigated in which as hard magnetic material NdFeB and as hard magnetic material armco are used.

Two models of composite materials are developed. In the first model the material is considered as set of separate areas with the magnetic characteristics. In the second model composite material is considered as one equivalent nonlinear characteristic. Magnetic characteristics of compositions with various volume relations of materials and not magnetic intervals are calculated. Results of calculations are compared with the data of experimental researches.

For definition of the best magnetisation of a rotor of the electric machine from a composite material the optimising problem with the several special criteria is formulated. They provide creation in the gap of the machine of a magnetic field of the maximum intensity, and simultaneously of the sinusoidal form. To solve optimizing problem the known root-mean-square method of optimisation – a method of Levenberga-Markvardta was used.

As a result of work comparative characteristics of electric machines with a traditional rotor with permanent magnets and with a composite material are received. The basic advantages of the composite materials made of particles hard magnetic material and soft magnetic material materials are allocated: easier magnetisation and possibility of manufacturing of difficult magnetic structures; smaller magnetic resistance to a magnetic flux under the relation only to hard magnetic material; possible economy of hard magnetic material at creation of fields in small not magnetic gaps.

**МЕТОДИКА ТОЧНОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ ПОД-
D-01-05 СТРОЕЧНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТ-
НЫХ СИСТЕМ ТОМОГРАФОВ**

К.И. Широков, П.А. Курбатов

**Московский энергетический институт (Технический университет),
Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14,
kurbatovpa@mpei.ru**

Подстроечные постоянные магниты изготавливаются в виде дисков диаметром от 2 до 20 мм и толщиной 1-2 мм из сплава NdFeB. Они применяются для точной настройки магнитного поля систем с постоянными магнитами (СПМ) магниторезонансных томографов. По данным измерений магнитной индукции в рабочей зоне СПМ специальная компьютерная программа решает оптимизационную задачу и выдает числовые значения необходимых магнитных моментов подстроечных магнитов и указывает координаты их расположения на поверхности полюсов. Высокая точность настройки обеспечивается точным воспроизведением требуемых магнитных моментов подстроечных постоянных магнитов.

Создание необходимого магнитного момента у постоянного магнита, исходя из зависимости $m = M \cdot V$, осуществляется за счет изменения намагниченности M и объема постоянного магнита V . Выбор объема осуществляется из имеющихся магнитов по условию минимального превышения расчетного магнитного момента при намагничивании до насыщения. Точная юстировка магнитного момента постоянного магнита производится за счет его перемагничивания.

Установкой для перемагничивания служит электромагнит с магнитной системой броневого типа. В рабочий зазор электромагнита помещается постоянный магнит, где он намагничивается до насыщения импульсом магнитного поля. После этого осуществляется размагничивание постоянным магнитным полем до заданного значения намагниченности. Определение необходимого значения тока в электромагните осуществляется с помощью компьютерного моделирования магнитного поля в процессе перемагничивания постоянного магнита. В расчетах учитываются технологические немагнитные зазоры в магнитной цепи электромагнита. Модель предельного и частных циклов перемагничивания материала постоянного магнита построена с использованием моделей магнитного гистерезиса Джилса – Атертона. Контроль магнитных моментов производится при помощи катушек Гельмгольца.

**D-01-05 TECHNIQUE OF EXACT MAGNETIZATION OF TUNING
CONSTANT MAGNETS OF MAGNETIC SYSTEMS OF TOMOGRAPHY**

K.I. Shirokov, P.A. Kurbatov

**The Moscow Power Engineering institute (Technical university), Russia,
111250, Moscow, street Krasnokazarmennaja, 14, kurbatovpa@mpei.ru**

Tuning constant magnets are made in the form of disks in diameter from 2 to 20 mm and thickness of 1-2 mm of alloy NdFeB. They are applied to accuracy of adjustment a magnetic field of systems with constant magnets (SMP) MRI scanners. According to induction density measurements in working zone SMP the special computer program solves an optimising problem and gives out numerical values of the necessary magnetic moments of tuning magnets and specifies co-ordinates of their arrangement in surfaces of poles. Pinpoint accuracy of adjustment is provided with exact reproduction of the demanded magnetic moments of tuning constant magnets.

Creation of the necessary magnetic moment at a constant magnet, proceeding from dependence, $m = M \cdot V$ is carried out at the expense of change of magnetisation M and volume of a constant magnet V . Volume chosen is carried out from available magnets on a condition of the minimum excess of the settlement magnetic moment at magnetisation before saturation. Exact adjustment of the magnetic moment of a constant magnet is made at the expense of its reversal magnetisation.

As installation for reversal magnetisation the electromagnet with magnetic system of shell-type system. In an electromagnet running clearance the constant magnet where it is magnetised before saturation by a magnetic field pulse is located. After that demagnetization by a constant magnetic field to a magnetisation preset value is carried out. Definition of necessary value of a current in an electromagnet is carried out by means of computer modelling of a magnetic field in the course of reversal magnetisation of a constant magnet. In calculations technological not magnetic positive allowances in a magnetic chain of an electromagnet are considered. The model limiting and specific cycles of reversal magnetisation of a material of a constant magnet is built with use of models of magnetic hysteresis Jiles – Atherton. The control of the magnetic moments is made by means of coils Gelmgoltsa.

D-01-06 АНАЛИЗ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫХ ТОМОГРАФОВ

Е.А. Кузнецова, Ю.В. Кулаев, П.А. Курбатов
**Московский энергетический институт (Технический университет),
Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, kurbatovpa@mpei.ru**

Система с постоянными магнитами (СПМ) магниторезонансного томографа (МРТ) предназначена для создания однородного магнитного поля с высокой магнитной индукцией в зоне исследования пациента. Качество изображения, доступные методы исследований, необходимая продолжительность процедур определяется параметрами СПМ. Для достижения наилучших показателей необходимо иметь более высокие значения магнитной индукции и однородность магнитного поля. При создании систем с большими значениями магнитной индукции в рабочей области необходимо увеличивать габариты СПМ, объем используемых постоянных магнитов. Рост размеров системы приводит к увеличению ее стоимости, поскольку в основном масса постоянных магнитов определяет стоимость СПМ.

В работе сделан обзор конструкций СПМ ведущих мировых производителей МРТ. Для наиболее предпочтительной компоновки СПМ с магнитопроводом С-образного типа сформулирована оптимизационная задача с глобальным критерием оптимальности минимумом массы постоянных магнитов. В качестве функциональных ограничений применено условие создания СПМ заданного значения магнитной индукции в фиксированной по размерам эллипсоидальной области. Разработаны вычислительный алгоритм и программа для решения этой оптимизационной задачи [1]. Выполненные оптимизационные расчеты позволили выявить и проанализировать зависимости требуемых масс постоянных магнитов из сплава NeFeB и магнитопроводов из стали 10 от значения магнитной индукции в рабочей области в диапазоне значений от 0,2 до 0,5 Тл. Анализ массогабаритных показателей СПМ позволяет сделать необходимые ориентировочные оценки их материалоемкости и себестоимости изготовления.

[1] Курбатов П.А., Кузнецова Е.А., Кулаев Ю.В. Проектирование систем с постоянными магнитами открытого типа для магниторезонансных томографов. - Электричество, 2007, №7

**D-01-06 MAGNETIC RESONANCE IMAGER WITH PERMANENT
MAGNETS WEIGHT AND DIMENSION FACTORS ANAL-
YSIS**

E.A. Kuznetzova, Y.V. Kulayev, P.A. Kurbatov
**Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Krasnoka-
zarmennaya st, 14, Moscow, Russia, 111250, KurbatovPA@mpei.ru**

The system with permanent magnets (SPM) of magnetic resonance imager (MRI) generates uniform magnetic field with high magnetic flux density in the patient examination area.

Image quality, accessible methods of the examination, necessary period of procedures is defined by SPM parameters. It is necessary to have higher values of a magnetic flux density and magnetic field uniformity to achieve the best indicators. At creation of systems with great values of a magnetic flux density in working area it is necessary to increase SPM dimensions and permanent magnets volume. System sizes growth leads to increase in its cost as basically the weight of permanent magnets defines cost SPM.

In work the review of designs SPM of leading world manufacturers MRI is made. The optimization problem with global criterion of an optimality a minimum of weight of permanent magnets for the most preferable configuration SPM with S-type magnetic core is formulated. The condition of creation SPM with predetermined value of a magnetic flux density as functional limitation in fixed ellipsoid area is applied. The computing algorithm and the program for the decision of this optimization problem [1] are developed. The executed optimization calculations have allowed to reveal and analyze dependences of demanded weights of NeFeB permanent magnets and steel magnetic core from value of a magnetic flux density in working area in a range from 0,2 to 0,5 T. The analysis of weight and dimensions factors of SPM allows to make estimations of materials consumption and manufacturing cost prices.

[1] Kurbatov P. A, Kuznetsova E.A., Kulaev JU.V. Designing of systems with permanent magnets of open type for magnetic resonance imager. - Electricity, 2007, №7

**D-01-07 ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПОСТОЯННОГО МАГНИТА НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАК-
ТЕРИСТИКИ ФЕРРИТОВЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ**

С.В. Сковородников, О.Ю. Буслов, А.А. Фирсенков, Г.Д. Павлов
ОАО “Завод Магнетон”, Россия, 194223, Санкт-Петербург,
ул. Курчатова, 9, magneton@magneton.ru, www.magneton.ru

В настоящее время создание интегральных микрополосковых ферритовых СВЧ устройств с использованием постоянных магнитных материалов является перспективным направлением радиоэлектроники с точки зрения замены существующего класса приборов (циркуляторов, вентилялей и т.д.) на устройства нового поколения с улучшенными температурными и частотными характеристиками. Базовым элементом таких устройств являются постоянные магнитные материалы, состав и геометрические размеры которых определяют и влияют на распределение статических магнитных полей в дисковых ферритовых резонаторах (ДФР).

В настоящей работе с целью улучшения параметров приборов представлен расчет и анализ распределения напряженности магнитного поля в ДФР при воздействии на него редкоземельного постоянного магнита (РПМ) из сплава КС-37 (самарий-кобальт) [1]. Рассмотрено влияние геометрии и положения постоянного магнита и магнитопровода на резонансную частоту и рабочую полосу частот ДФР.

На основе РПМ и ДФР был разработан и изготовлен двухполосный циркулятор со следующими характеристиками: центральные частоты диапазонов работы ~ 2.6 и ~ 5.0 ГГц; ширина рабочих полос $\sim 5\%$ на уровне развязки между каналами 20 дБ, вносимые потери ~ 0.7 дБ и ~ 1.0 дБ соответственно для диапазонов на уровне развязки между каналами ~ 20 дБ. Простота изготовления и хорошая интеграция создают условия для его успешного применения в многочастотных системах связи, например WLAN [2].

[1] Microwave Engineering Europe, 10 (2006), www.mwee.com

[2] Kin-Lu Wong, Planar Antennas for WLAN Applications, Ansoft Workshop (2002) 09

D-01-07 INFLUENCE OF DISTRIBUTION OF THE MAGNETIC FIELD OF THE CONSTANT MAGNET ON FERRITE MICROWAVE DEVICES FREQUENCY CHARACTERISTICS

S.V. Skovorodnikov, O.Yu. Buslov, A.A. Firsenkov, G.D. Pavlov
Magneton J.S.Co., Russia, 194223, St.-Petersburg, st. Kurchatova, 9,
magneton@magneton.ru, www.magneton.ru

Recently most perspective direction of radio electronics interconnected with creation of integrated microstrip ferrite microwave devices which contain constant magnetic materials. This approach gives a possibility to create a new generation of devices (circulators, isolators etc.) with improved temperature and frequency characteristics. The structure and sizes of constant magnets, are define the distribution of static magnetic field in disk ferrite resonators (DFR).

In the present work shows the calculation result of a DFR magnetic field distribution induced by the field of a rare-earth constant magnet (RCM) from alloy CS-37 (samary-cobalt) [1]. Influence of geometry and position of a constant magnet and a magnetic path on resonant frequency and frequency band of DFR is considered.

On the basis of RCM and DFR the two bandwidth circulator has been developed. This circulator has following characteristics: the central frequencies ~ 2.6 and ~ 5.0 GHz; the bandwidth ~ 5 %, insertion losses ~ 0.7 dB and ~1.0 dB, isolation between channels ~ 20 dB. Simplicity of manufacturing and good integration creates conditions for its successful application in multifrequency communication systems, for example WLAN [2].

[1] Microwave Engineering Europe, 10 (2006), www.mwee.com

[2] Kin-Lu Wong, Planar Antennas for WLAN Applications, Ansoft Workshop
(2002) 09

D-01-08 ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ САМАРИЙ-КОБАЛЬТОВЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

А.И. Власов, Е.В. Волокитина, В.В. Никитин, Ю.Г. Опалев
ОАО "Электропривод", Россия, 610006, г. Киров, Октябрь-
ский пр-т, 24, helen@epv.ru

ОАО "Электропривод" (г. Киров) разработало вентильный электродвигатель постоянного тока ДБ120-22000-12 мощностью 20 кВт для экспериментального образца мехатронного модуля электрогидростатического привода (ЭГСП).

Для разработки и исследований электродвигателя ДБ120-22000-12 были изготовлены два комплекта постоянных магнитов, требуемая сегментная форма которых получена методом механической обработки. Первый комплект постоянных магнитов обработан в намагниченном состоянии, второй комплект постоянных магнитов обработан в размагниченном состоянии и намагничен после механической обработки.

Проведены экспериментальные исследования электродвигателя с обоими комплектами постоянных магнитов на роторе, в том числе в составе ЭГСП.

В результате проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что электродвигатель с первым комплектом постоянных магнитов имел существенно худшие характеристики, в сравнении с электродвигателем со вторым комплектом.

Анализ результатов экспериментальных исследований может свидетельствовать о том, что механическая обработка постоянных магнитов в намагниченном состоянии приводит к потере магнитного потока и, как следствие, к ухудшению характеристик магнитоэлектрических машин.

**D-01-08 MACHINING INFLUENCE OF Sm-Co PERMANENT
MAGNETS ON PARAMETERS OF THE PERMANENT-
MAGNET MACHINES**

A.I. Vlasov, Ye.V. Volokitina , V.V. Nikitin, Yu.G. Opalev
¹ JSC "Electroprivod", Russia, 610006, Kirov, Oktyzbrsky av., 24,
helen@epv.ru

JSC "Electroprivod" (Kirov) has developed the brushless DC electric motor (BCDM) ДБ120-22000-12 with an output power 20 kW for an experimental model of the mechatronic module of the electro-hydrostatic drive (EHSD).

For development and research of ДБ120-22000-12 two permanent magnet sets was made. Their required segmented form was received by means of machining. The first permanent magnet set was shaped in magnetized state, the second one was shaped in demagnetized state and magnetized after machining.

Experimental research of the electric motor was carried out with the both of permanent magnet sets on the rotor including investigations with EHSD.

As a result it's established that BDCM with the first permanent magnet set had worse characteristics than BDCM with the second one.

Analysis of findings supposes that permanent magnet machining in magnetized state results in loss of magnetic flux and deterioration of characteristics of permanent magnet machines.

**D-01-09C ОПТИМАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ОТКЛОНЯЮЩЕЙ
МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ПОСТОЯННЫХ МАГ-
НИТАХ**

Я.Д. Рабинович, К.Л. Сергеев

**ООО «НПК Магниты и магнитные системы», Москва, Россия, 127238,
Москва, Дмитровское шоссе, д.58, npkmmms@mail.ru**

Проектирование оптимальных по массе магнитных систем (МС) является актуальной задачей. В [1,2] был предложен метод синтеза МС с интегральными характеристиками, основанный на теоремах взаимности, сформулированы принципы их конструирования. Это дало возможность разработать эффективные МС [3], в частности, найти особо примечательные из них, так называемые, цилиндры Хальбаха, задолго до самого Хальбаха [4-6].

На основе полученных методик ООО «НПК Магниты и магнитные системы» разработан ряд МС, представленных в докладах на специализированных конференциях.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом продолжают работы по совершенствованию и развитию алгоритмов проектирования оптимальных систем на постоянных магнитах, в том числе, и усилиями специалистов ООО «НПК Магниты и магнитные системы».

В докладе мы остановимся на особенностях разработки отклоняющей МС для спектрометра с протяженным целевым рабочим зором и высокой степенью однородности.

- [1] Я.Д. Рабинович, А.Н. Герберг «Машинное проектирование оптимальных магнитов и материалов с постоянной намагниченностью», Электромеханика 10 (1973) 1068-1073
- [2] Я.Д. Рабинович, А.Н. Герберг «Принцип взаимности и оптимальные конструкции постоянных магнитов», Электромеханика 7(1980) 710-714
- [3] Авт. св. СССР №513396, заявлено 28.12.73 г
- [4] Авт. св. СССР №655242, заявлено 17.01.75 г.
- [5] Авт. св. СССР №662979, заявлено 23.12.75 г.
- [6] К. Halbach «Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt material» Nuclear instruments and methods 169 (1980) 1-10

D-01-09C OPTIMUM CONSTRUCTION OF DECLINATORY MAGNETIC SYSTEM ON PERMANENT MAGNETS

Y.D. Rabinovich, K.L. Sergeev

R&P Co. «Magnets & magnetic systems», Moscow, Russia, 127238, Moscow, Dmitrovskoe highway, 58, [npkmmms@mail.ru](mailto:npkmms@mail.ru)

Designing of the optimum on mass magnetic systems (MS) is an actual task. The method of synthesis for MS with integral descriptions, based on the theorems of reciprocity, was offered in [1,2], principles of their constructing are formulated. It enabled to design effective MS [3], in particular, well-known Halbach's cylinders, long before Halbach [4-6].

There are several of MS was designed by R&P Co. «Magnets & magnetic systems» on the basis of the obtained methods. Results are presented in specialized conferences reports.

In present time works on perfection and development of algorithms of designing of the optimum systems on permanent magnets are continue at Russia and other countries, also by R&P Co. «Magnets & magnetic systems»

In this report we will be stopped on the designing features of declinatory spectrometer MS, with an extensive chink working gap and high degree of homogeneity.

1] Ya.d. Rabinovich, A.N. Gerberg «Machine planning of optimum magnets and materials with permanent magnetized», Electromechanics 10 (1973) 1068-1073

[2] Ya.d. Rabinovich, A.N. Gerberg «Principle of reciprocity and optimum constructions of permanent magnets», Electromechanics 7 (1980) 710 - 714

[3] USSR patent № 513396, 28.12.73

[4] USSR patent № 655242, 17.01.75

[5] USSR patent № 662979, 23.12.75

[6] K. Halbach «Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt material» Nuclear instruments and methods 169 (1980) 1-10

D-02-01

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.В. Даньшин

**Самарский Университет Путей Сообщения, Россия, 443066,
Самара, 1-й Безымянный пер., danshin063@gmail.com**

Магнитодинамические системы на сегодняшний день являются одной из самых малоизученных областей науки. Взаимодействие постоянных магнитов, несмотря на свою документированность, не может быть в настоящее время легко и доступно быть применено инженерами для проектирования сложных механических устройств, использующих силы постоянных магнитов или соленоидов.

В нашей работе предложено взглянуть на магнитное поле, путем разложения его на тензоры второго ранга, которые в своих уравнениях содержат необходимые векторы сил и моменты в любой точке пространства.

Нами выведены общие формулы и зависимости для упрощенного анализа взаимодействия сложных систем магнитов, а также приведены и озвучены результаты экспериментальных исследований на специально изготовленном лабораторном стенде. При помощи экспериментальных данных произведена визуализация 2-х и 3-х мерного поля в пакетах Mathcad и Matlab, а также получены отклонения физико-механических свойств от теоретических расчетов.

В последствии, результаты моделирования магнитных полей были применены для проектировки собственной магнитодинамической системы, позволяющей превращать механическим путем энергию взаимодействия постоянных магнитов во вращательное движение.

В перспективе предложенные нами методы могут быть применены для обработки результатов исследования с высокочастотных магнитодинамических систем, с целью получить наглядное представление о зависимостях изменения магнитного поля по времени.

D-02-01 MODELLING OF MAGNETIC DYNAMIC SYSTEMS

V.V. Danshin

**Samara State Railway University, Russia, 443066, Samara,
1 st Unnamed Lane., danshin063@gmail.com**

Nowadays magnetic dynamic systems are one of the little-studied field of science. The interaction of permanent magnets, in spite of its documentation, can not be easily accessible to be used by engineers to design complex mechanisms using the force of permanent magnets or solenoids.

The report proposes to view the magnetic field by means of its expansion in the second-rank tensors, which in their equations contain the necessary vectors of forces and moments at any point.

The author derives general formulas and dependence to simplify analysis of the interaction of complex systems, magnets, and yields the results of the experimental investigation on a specially constructed laboratory stand.

With the help of experimental data the author carried out visualization of 2- and 3-dimensional field in Mathcad and Matlab packages, as well as received the deviations of the physical and mechanical properties from the theoretical calculations.

Then, the results of magnetic fields simulations have been used to design their own Magnetic dynamic system enabling to transform mechanically the interaction energy of permanent magnets into the rotary motion.

In the future, the proposed methods will be able to be used for the processing of the findings with high Magnetic dynamic systems in order to obtain a visual representation of the dependencies of magnetic field changes over time.

D-02-02

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Ю.А. Илларионов¹, Ю.В. Писаревский², В.А. Сергеев²

¹ООО «МЭЛ», Россия, 394006, Воронеж, Красноармейская, 54,
elton@nm.ru

²Воронежский государственный технический университет,
Россия, 296026, Воронеж, Московский пр., 14, vrnendtown@mail.ru

Одним из важных вопросов при проектировании систем автоматики является правильный выбор типа исполнительного двигателя. При рассмотрении систем с высокими требованиями к динамическим параметрам, можно ограничиться рассмотрением трёх типов электродвигателей: с полым цилиндрическим якорем, с гладким и с зубчатым якорем.

Несмотря на многочисленные исследования динамических характеристик данных типов двигателей выбор конкретной конструкции зависит от особенностей автономного объекта, в котором используется машина.

Исследования показывают, что электродвигатели с полым якорем не обеспечивают надёжную работу электропривода в условиях высоких ускорений по причине консольного крепления якоря. Более прочную конструкцию имеют электродвигатели с гладким якорем. Именно эти конструкции позволяют получить предельные динамические показатели электроприводов [1]. Однако в рассматриваемом случае невозможно реализовать основные преимущества гладкого якоря из-за ограниченного объёма машины, причём в условиях, когда заданы не только диаметр машины, но и её длина.

Таким образом, электродвигатели с зубцовым якорем могут иметь лучшую совокупность показателей для обеспечения заданного быстродействия электроприводов автономных объектов специального назначения.

[1] Электрические двигатели с гладким якорем для систем автоматики / Васильев Ю.К., Лазарев Г.В., Рубан Н.С. и др.: Под ред. Ю.К. Васильева — М.: Энергия, 1979 — 176 с., ил.

D-02-02 **MODELLING OF MAGNETIC SYSTEMS EXECUTIVE
ELECTRIC MOTORS DIRECT CURRENT WITH EXCI-
TATION FROM HIGH-COERCIVITY CONSTANTS MAG-
NETS**

J.A.Illarionov¹, J.V.Pisarevskij², V.A.Sergeev²

**¹OOO "MEL", Russia, 394006, Voronezh, Krasnoarmeyskay, 54,
elton@nm.ru**

**²Voronezh state technical university,
Russia, 296026, Voronezh, Moscow pr., 14, vrnendtown@mail.ru**

One of the important questions at designing systems of automatics is the correct choice such as the executive engine. By consideration of systems with high requirements to dynamic parameters, it is possible it will be limited to consideration of three types of electric motors: with hollow a cylindrical anchor, with smooth and with a gear anchor.

Despite of numerous researches of dynamic characteristics of the given types of engines the choice of a concrete design depends on features of independent object in which the machine is used.

Researches show, that electric motors with *полым* an anchor do not provide reliable work of the electric drive in conditions high *ускорений* owing to console fastening an anchor. Electric motors with a smooth anchor have stronger design. These designs allow to receive limiting dynamic parameters of electric drives [1]. However in a considered case it is impossible to realize the basic advantages of a smooth anchor because of the limited volume of the machine, and in conditions when are set not only diameter of the machine, but also its *her* length.

Thus, electric motors with cog-wheel an anchor can have the best set of parameters for maintenance of the set speed of electric drives of independent objects of special purpose.

[1] Electric motors with a smooth anchor for systems of automatics / Vasiljev J.K., Lazarev G.V., Ruban N.S., etc.: Under ред. J.K.Vasiljeva - M.: Energy, 1979 - 176 with., silt.

D-02-03 ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫХ ИНДУКТОРНЫХ СИСТЕМ СО СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ ПОЛЯ

В.А. Нестерин, Л.С. Яковлев, В.Н. Андреев, А.Д. Нестерина
Чувашский госуниверситет им. И.Н. Ульянова
Россия, 428000, г.Чебоксары, Московский пр. 15, lev-yakovlev@yandex.ru

При конструировании импульсных индукторных систем (ИС) для намагничивания высокоэнергетических ПМ из редкоземельных металлов (РЗМ) требуемые параметры – индуктивность L_u , сопротивление R_u , амплитуду импульса намагничивающего тока I_m и др. можно найти в процессе вычисления переходного процесса по заданным параметрам R и C RLC -контура силовой цепи намагничивающей установки. Намагничивание ПМ на установке происходит в колебательном режиме, описываемом выражением $i(t) = I_0 e^{-\delta t} \sin \omega t$ при $t < t_0$ ($i(t) = 0$ при $t > t_0$), где I_0 – предельное амплитудное значение тока при $R = 0$ (идеальный колебательный контур), $I_0 = U_C(0)/\omega L$, $\delta = R/2L$, $\omega = [(1/LC) - R^2/4L^2]^{1/2}$, U_C – напряжение заряда конденсаторной батареи, t_0 – длительность импульса. Амплитуда импульса тока I_m связана с I_0 соотношением $I_m^* = I_m/I_0$, при этом I_m^* является функцией от R и критического сопротивления $R_k = 2(L/C)^{1/2}$. При $R > R_k$ переходный процесс превращается в аperiодический. Качество намагничивания ПМ зависит не только от t_0 , но и от крутизны фронта или его длительности t_m , при этом $t_0 = \pi/[1/(LC) - \delta^2]^{1/2}$, $t_m = (t_0\pi) \operatorname{arctg} [R_k^2/R^2 - 1]^{1/2}$, т.е. они зависят от параметров RLC -контура. Для технического насыщения ПМ из РЗМ требуется магнитное поле порядка 5 Тл в импульсе. Небольшие ПМ вполне можно намагнитить одновитковыми ИС, однако с ростом габаритов ПМ они становятся малоэффективными из-за неоднородности поля в рабочей зоне. Также из-за малой индуктивности L_u таких ИС t_0 и t_m уменьшаются, что приводит к усилению экранирующего действия вихревых токов. Применение маловитковых ИС вместо одновитковых существенно увеличивает L , прирост R при этом незначителен, а t_0 и t_m увеличиваются [1-3].

Приводятся варианты конструкций маловитковых ИС для намагничивания колец из сплава $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ диаметром свыше 50 мм со сложной (радиальной) текстурой. Получение требуемой амплитуды H_i и однородности намагничивающего поля в рабочей зоне обеспечивается выбором сечения и количеством витков, а также их расположением в ИС. Обсуждается математическая модель ИС.

[1] Нестерин В.А. Оборудование для импульсного намагничивания и контроля постоянных магнитов. М.: Энергия, 1986.

[2] Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М.: Мир, 1972. [3] Карасик В.Р. Физика и техника сильных магнитных полей. М.: Наука, 1964.

**D-02-03 RESEARCH EXPERIENCE PULSE INDUCTOR SYSTEMS
WITH COMPLEX STRUCTURE FIELD PATTERN**

V.A. Nesterin, L.S. Yakovlev, V.A. Andreev, A.D. Nesterina
Chuvash state university of n. I.N. Ulyanov
Russia, 428015, Cheboksary, Moskovsky pr. 15, lev-yakovlev@yandex.ru

At designing pulse inductor systems (IS) for magnetizing high energy PM from Rare Earth Metals (REM) desired parameters – inductivity L , resistance R , amplitude of pulse magnetizing current I_m , and other can be found calculating the transient process on the instructions of given parameters R and C of RLC -circuit powered current magnetizing device. Magnetization of PM on device takes place in oscillating mode, displayed by the formula $i(t) = I_0 e^{-\delta t} \sin \omega t$ in $t < t_0$, $i(t) = 0$ in $t > t_0$, where I_0 – limiting peak current rate in $R = 0$ (ideal oscillatory circuit), $I_0 = U_C(0)/(\omega L)$, $\delta = R/2L$, $\omega = [(1/LC) - R^2/4L^2]^{1/2}$, U_C – charging voltage capacitor bank, t_0 – pulse length. Pulse amplitude of current I_m bound with I_0 of ratio $I_m^* = I_m/I_0$, thus I_m^* is a function of R and critical resistance $R_k = 2(L/C)^{1/2}$. In $R > R_k$ transient process transforms into aperiodic. Quality magnetization of PM depends not only on t_0 , but on the slope front or its length t_m , thus $t_0 = \pi/[1/(LC) - \delta^2]^{1/2}$, $t_m = (t_0/\pi) \arctg [R_k^2/R^2 - 1]^{1/2}$, i.e. they depend on parameters of RLC -circuit. For technical saturation of PM from REM magnetic field rank 5 T in pulse is required. Small PM are quite possible to magnetize with single-turn IS, but with the increase of overall dimensions PM they tend to be ineffective because of non-homogeneity of the field in the working area. Because of low inductivity such IS t_0 and t_m to decrease, which results to amplification of the screening action eddy currents as well. Application a few-turn IS in place of single-turn significantly increases L , the increment of R is insignificant, but t_0 and t_m also increase [1- 3].

Versions of construction of a few-turn IS for magnetization of ring with alloys $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ diameter over 50 mm with complex (radial) texture are given. Obtaining amplitude required H_i and homogeneity of magnetizing field in working area are provided with sampling of section and quantity coils, also with their location in IS. Mathematical model IS is discussed.

[1] Nesterin V.A. Installation for pulsing magnetization and permanent magnets control. Moscow.: Energiya, 1986.

[2] Knoepfel H. Pulsed High Magnetic Fields. Moscow.: Mir, 1972.

[3] Karasik V.R. Physics and tehniks of strong magnetic fields. Moscow: Nauka, 1964.

D-02-04 СИНТЕЗ МАГНИТНОЙ ПЛИТЫ, СОЗДАЮЩЕЙ ОДНОСТОРОННЕЕ ПОЛЕ

Н.И. Клевев

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Украина, Симферополь, Киевская 181, PMSolution@mail.ru

Магнитная плита – один из наиболее часто встречающихся на практике типов магнитных систем (МС). Примерами устройств, в которых используются магнитные плиты (МП), являются: магнитные сепараторы, ондуляторы, линейные двигатели, опоры, захваты, детекторы металла.

В докладе рассмотрены многополюсные МП, создающие поле только с одной стороны. Плиты спроектированы с использованием метода скалярного синтеза [1] по критерию максимума проекции поля на заданную направляющую функцию, а так же по критерию максимума проекции электромагнитной силы. Различные критерии синтез МП приводят к существенно различным результатам.

Рассмотрены варианты практически реализуемых МП, приведен анализ эффективности использования магнитно-твердого материала в зависимости от параметров плит, а так же различных направляющих функций.

Результаты исследований могут быть распространены на магнитные цилиндры и диски.

[1] Klevets N.I. Synthesis of magnetic systems producing field with maximal scalar characteristics. – JMMM, 283 (2005) 401 – 409.

D-02-04

**SYNTHESIS OF MAGNETIC PLATE CREATING
ONE-SIDED FIELD**

N.I. Klevets

**National Academy of Ecologic Protection and Resort Engineering,
Kievskaya st., 181, Simferopol Ukraine, PMSolution@mail.ru**

The magnetic plate is one of the most commonly occurring in practice type of the magnetic systems (MS). The examples of the devices, using the magnetic plates (MP), are the magnetic separators, undulators, linear electrical machines, suspensions, catchers, metal detectors.

The report deals with the multipolar MPs, creating the one-sided field. The plates are designed by the criterion of maximum field's projection on the given directing function, and also under the criterion of maximum projection of the electromagnetic force. Various criteria of the MP's synthesis lead to the essentially different results.

The variants of practical MPs are considered, the analysis of the effectiveness of hard-magnetic materials' consumption, depending on the plates' parameters and also on the different directing functions, is given.

The present investigation can be extended to the magnetic cylinders and disks.

[1] Klevets N.I. Synthesis of magnetic systems producing field with maximal scalar characteristics. – JMMM, 283 (2005) 401 – 409.

D-02-05

**СИНТЕЗ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ПО КРИТЕРИЮ
МАКСИМУМА СИЛЫ**

Н.И. Клевев

**Национальная академия природоохранного и курортного строитель-
ства, Украина, Симферополь, Киевская 181, PMSolution@mail.ru**

В практике проектирования часто встречается задача синтеза магнитных систем (МС) по критерию максимума электромагнитной силы, действующей со стороны поля МС на ферромагнитное тело. Примерами таких устройств являются магнитные сепараторы и железоуловители.

Предложенные ранее методы синтеза МС [1, 2] не позволяют решить данную задачу, т.к. при расчет электромагнитной силы выполняются нелинейные преобразования поля МС.

Решение данной проблемы может быть получено с помощью методов оптимизации. Однако, в этом случае приходится решать сложную вычислительную задачу поиска глобального экстремума нелинейной многоэкстремальной функции, на переменные которой наложены ограничения, т.е. задачу нелинейного программирования. Классические вычислительные алгоритмы оптимизации при решении практических задач нелинейного программирования часто оказываются несостоятельными.

Для решения задачи синтеза предлагается использовать метаэвристические методы оптимизации, имитирующие оптимизацию в живой природе [3]. Эти методы хорошо приспособлены для решения сложных задач нелинейного программирования при наличии системы ограничений и уравнений связи, которые уточняют область поиска оптимального решения задачи синтеза. При этом можно легко учесть дополнительные критерии оптимизации, т.е. получать решение оптимальное по Парето.

Рассмотрен пример синтеза МС подъемника с использованием метода роевой оптимизации [4].

[1] Klevets N.I. Synthesis of magnetic systems producing field with maximal scalar characteristics. – JMMM, 283 (2005) 401 – 409.

[2] Klevets N.I. Optimal design of magnetic systems. – JMMM, 306 (2006) 281.

[3] Glover, F., Kochenberger, G. (Eds.), Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.

[4] Kennedy J., Eberhart R. C., Swarm Intelligence, Morgan Kaufmann, San Francisco, Calif, USA, 2001.

D-02-05

**SYNTHESIS OF MAGNETIC SYSTEMS BY THE
CRITERION OF MAXIMUM FORCE**

N.I. Klevets

**National Academy of Ecologic Protection and Resort Engineering,
Kievskaya st. 181, Simferopol, Ukraine, 95034, PMSolution@mail.ru**

In the design practice there is often the problem of synthesizing the magnetic systems (MS) by the criterion of maximum electromagnetic force created by the MS's field and acting on a ferromagnetic body. The examples of such the devices are the magnetic separators and the catchers of iron.

The methods of the MS's synthesis proposed earlier [1-2] did not allow to solve this problem, because the calculation of the electromagnetic force is accompanied by the non-linear transformations of the MS's field.

The solution of the present problem can be obtained by the optimization methods. However, in this case, one needs to solve a complex problem of determination of the global minimum of the multimodal function, which variables are restricted, i.e. the problem of non-linear programming. The classic computational algorithms of optimization fail to solve the practical problems of non-linear programming.

The metaheuristic methods of optimization, modeling the optimization in real world [3], are best suited to the solution of the synthesis problem. These methods fit well the solution of non-linear programming problems with the systems of constrains, adjusting the area of search of the optimal solution. At this, it is easy to take into account the additional criteria of the optimization, i.e. to obtain the Pareto optimal solution.

The example of synthesis of the handler's MS, using the method of particle swarm optimization [4], is considered.

[1] Klevets N.I. Synthesis of magnetic systems producing field with maximal scalar characteristics. – JMMM, 283 (2005) 401 – 409.

[2] Klevets N.I. Optimal design of magnetic systems. – JMMM, 306 (2006) 281.

[3] Glover, F., Kochenberger, G. (Eds.), Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.

[4] Kennedy J., Eberhart R. C., Swarm Intelligence, Morgan Kaufmann, San Francisco, Calif, USA, 2001.

D-02-06

**МУЛЬТИПОЛИ ДЛЯ ЭЦР-ИСТОЧНИКОВ
МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ**

А.А. Ефремов¹, Н.И. Клевцев²

¹ОИЯИ, ЛЯР, Россия, Дубна, efremov@nrmail.jinr.ru

²НАПКС, Украина, Симферополь, Киевская 181, PMSolution@mail.ru

В ЭЦР-источниках многозарядных ионов традиционно используют 6-полюсные магнитные системы (МС) [1, 2].

Постоянное повышение требований к уровню поля в рабочей области (РО) при одновременном требовании минимума стоимости МС диктует использование нетрадиционного подхода к их проектированию. В частности, в рассматриваемой МС применяются магниты (ПМ) с различными физическими свойствами в зависимости от действующих размагничивающих полей. При этом учтены, как собственные размагничивающие поля, так и поля внешних источников (сверхпроводящего соленоида). Кроме того, в областях, где это возможно применены ПМ с повышенным значением остаточной индукции для увеличения уровня поля в РО. В целом, в МС использовано пять типов ПМ с остаточной индукцией от 1,1 Тл до 1,41 Тл.

Применение различных ПМ в МС гексаполя позволило создать в РО поле величиной 1,4 Тл при высоком качестве (постоянстве модуля на концентрических окружностях). Диаметр РО равен 80 мм, внешний диаметр МС – 200 мм. Это, в свою очередь, обеспечило высокие значения выходных характеристик ЭЦР-источника при приемлемых материальных затратах на его изготовление.

[1] Многополюсный магнит: А.с.662979, СССР: МКИ⁴ H01F 7/00. Я.Д. Рабинович; Оpub. 15.05.79, Бюл. №18.

[2] Geller R., Electron Cyclotron Resonance Ion Sources and ECR Plasmas, UK, Bristol, IOP Publishing Ltd, 1996.

D-02-06

**MULTIPOLES FOR ECR-SOURCES OF
MULTICHARGE IONS**

A.A. Efremov¹, N.I. Klevets²

¹JINR, LNR, Dubna, Russia, efremov@nrmail.jinr.ru

²NAEPRI, Kievskaya st., 181, Simferopol, Ukraine, PMSolution@mail.ru

The 6-pole magnetic systems (MS) are traditionally used as ECR-sources of multicharge ions [1, 2].

The constant rise of the requirements for the field in the working area (WA) together with the requirement of the minimum cost of the MS force the usage of the alternative ways of their design. In particular, in the MS considered the permanent magnets (PMs), having various physical properties depending on the effective demagnetizing fields, are used. At this, both the intrinsic demagnetizing fields and the fields created by the external sources (the superconductive solenoid) are taken into account. Besides, whenever it is possible, the PMs with higher value of the residual induction are applied to maximize the field in the WA. In general, the MS uses five types of PMs with the residual induction varying from 1.1 T up to 1.41 T.

The usage of different PMs in the hexapole MS allowed to create the high-quality field of 1.4 T in the WA (the field has constant magnitude along the concentric circles). The WA's diameter is 80 mm, the external diameter of the MS is 200 mm. This, in its turn, provided the high values of the outlet characteristics of the ECR -source with reasonable material consumption during its production.

[1] Многополюсный магнит: А.с.662979, СССР: МКИ⁴ H01F 7/00. Я.Д. Рабинович; Оpub. 15.05.79, Бюл. №18.

[2] Geller R., Electron Cyclotron Resonance Ion Sources and ECR Plasmas, UK, Bristol, IOP Publishing Ltd, 1996.

D-02-07

РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ МАГНИТНОЙ ОПОРЫ

Н.И. Клевец², И.А. Афанасьева¹, Л.В. Кузнецова

¹НАПКС, Украина, Симферополь, Киевская 181, PMSolution@mail.ru

²ЭКОМАГ Россия, Владимир, ecomag@vtsnet.ru

Линейная магнитная опора предназначена для разгрузки системы транспортировки груза по алюминиевой направляющей длиной 4 м.

Магнитная система выполнена из магнитов типа NdFeB с остаточной индукцией 1,1 Тл, рабочий зазор равен 1 мм при грузоподъемности 200 кгс.

Расчет подъемной силы выполнен по формуле Максвелла. Результаты расчетных и экспериментальных данных хорошо согласуются.

D-02-07 CALCULATION OF LINEAR MAGNETIC SUPPORT

N.I.Klevets², I.A.Afanasieva¹, L.V.Kuznetsova

¹NAEPRE, Ukraine, Simferopol, Kievskaya st.,181, PMSolution@mail.ru

²ECOMAG Ltd., Russia, Vladimir, ecomag@vtsnet.ru

Linear magnetic support intends for unloading transport of load on 4 metre aluminium directive.

Magnetic system executes by Nd-Fe-B magnets with residual induction 1,1 Tl, working split 1 mm for carrying capacity 200 kg force.

The calculation of carrying force executed by Maxwell formula. Results of the calculation and of experiment coordinates well.

D-02-08 СИНТЕЗ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯ ФАРАДЕЯ

Н.И. Клевец¹, Афанасьева И.А.²

¹НАПКС, Украина, Симферополь, Киевская 181, PMSolution@mail.ru

²ООО "Экомаг", Россия, Владимир, ecomag@vtsnet.ru

Рассмотрена методика и результаты проектирования магнитной системы (МС) вентилля Фарадея. Проектирование МС выполнено с учетом следующих критериев оптимальности: точности воспроизведения поля в рабочей области, минимума массы магнитов, уровня технологичности конструкции изделия. Оптимальная конструкция МС, удовлетворяющая перечисленным противоречивым требованиям, получена методом геометрического синтеза [1] и эволюционной оптимизации [2].

При синтезе МС возможны два варианта оценки точности воспроизведения поля в РО: минимум среднеквадратичного отклонения распределения поля от требуемого и минимум нормы Чебышёва. В докладе рассмотрены оба варианта на примере осесимметричной МС для вентилля Фарадея.

[1] Klevets N. I. Optimal design of magnetic systems. – JMMM, 306 (2006), pp. 281 – 291.

[2] Michalewicz Z. Genetic algorithms + data structures = Evolution programs. – Springer, 1996. – 387 p.

D-02-08

**SYNTHESIS OF THE MAGNETIC SYSTEM
OF FARADAY'S ISOLATOR**

N.I. Klevets¹, I.A. Afans'eva²

¹NAEPRE, Ukraine, Simferopol, Kievskaya st., 181, PMSolution@mail.ru

²"Ecomag" Ltd., Russia, Vladimir, ecomag@vtsnet.ru

The method and the results of the magnetic system (MS) design of Faraday's isolator are considered. The MS design is carried out with the account of the following criteria of optimality: the precision of field's generation in the working area, the minimum of magnets' mass, the level of manufacturability of the device construction. The optimal MS's construction, satisfying these contradictory requirements, is obtained by the geometrical synthesis method [1] and of the evolutionary optimization [2].

While synthesizing the MS, there are two possible variants of the precision estimation of field's generation in the working area: the least squares fitting error minimum of the required distribution of the field, and Chebushev's norm minimum. Both variants are considered in the report by giving the example of the axially symmetric MS of the Faraday isolator.

[1] Klevets N. I. Optimal design of magnetic systems. – JMMM, 306 (2006), pp. 281 – 291.

[2] Michalewicz Z. Genetic algorithms + data structures = Evolution programs. – Springer, 1996. – 387 p.

D-02-09C **МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ В НА-
ТУРНО-МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Ю.А. Бахвалов, Н.И. Горбатенко, В.В. Гречихин, Н.М. Кьонг
**Южно-Российский государственный технический университет, Рос-
сия, 346428, Новочеркасск, Просвещения ул., 132, vgrech@mail.ru**

Математическое моделирование эффективно применяется, как при проектировании электротехнических устройств с постоянными магнитами (ПМ), так и в натурно-модельных экспериментах при определении характеристик ПМ. При этом успех моделирования во многом зависит от используемых математических моделей и методов расчета магнитных полей, особенно в нелинейных средах.

Выбор метода моделирования магнитного поля связан с характеристиками системы с ПМ и определяется требуемой точностью и величиной затрачиваемого машинного времени. Предлагается для математического моделирования использовать модель стационарного магнитного поля в виде нелинейного интегрального уравнения относительно намагниченности ферромагнетиков. К достоинствам модели относится то, что уравнения составляются только для ферромагнитных областей, как следствие, значительно сокращается размерность задачи по сравнению с моделями, реализованными в методах конечных разностей и конечных элементов, особенно при рассмотрении разомкнутых систем. Искомым является распределение намагниченности M по объему ферромагнетиков при известном распределении составляющей напряженности магнитного поля, созданной токами катушек магнитной системы.

Разработанная математическая модель применялась для определения кривой размагничивания материала ПМ путем натурно-модельных испытаний в магнитной системе, представляющей собой соленоид, внутри которого по оси расположены два цилиндрических стержня из магнитомягкого материала, между которыми размещается ПМ цилиндрической формы, имеющий нелинейную характеристику $M(H)$.

Модель позволяет обеспечить быструю сходимости последовательности приближенных решений и достаточно высокую точность определения параметров магнитного поля при относительно небольшом количестве элементов дискретизации, что позволяет использовать ее в натурно-модельном эксперименте. Время определения кривой размагничивания материала испытуемого ПМ не превышает 20 сек с погрешность не более 3%. Испытания показали, что применение разработанной модели позволяет определять магнитные характеристики материала ПМ с достаточной точностью и высоким быстродействием.

**D-02-09C MODELING OF MAGNETIC SYSTEMS IN NATURNO-
MODELING EXPERIMENT**

J.A.Bahvalov, N.I.Gorbatenko, V.V.Grechikhin, N.M.Kyong
South-Russia State Technical University, Russia, 346428, Novocherkassk,
Prosvescheniya Str., 132, vgrech@mail.ru

Mathematical modeling is effectively applied, as at designing of electro-technical devices with constant magnets (PM), and in naturno-modeling experiments at definition of characteristics PM. Thus the success of modeling in many respects depends on used mathematical models and methods of calculation of magnetic fields, especially in nonlinear medium.

Sampling of a method of modeling of a magnetic field is connected with characteristics of system with PM and defined by demanded accuracy and magnitude of a spent machine time. It is offered to use for mathematical modeling model of a stationary magnetic field in the form of the nonlinear integrated equation concerning magnetization of ferromagnets. That the equations are made only for ferromagnetic areas refers to advantages of model dimensions of a quantity of a problem in comparison with the models realized in finite difference method and final elements, as consequence, is considerably reduced, especially by consideration of the open systems. Distribution of magnetizations M by volume ferromagnets is required at known distribution of the making magnetic intensity created by currents of coils of magnetic system.

The developed mathematical model was applied to definition of a curve of demagnetization of material PM by naturno-modeling tests in the magnetic system representing the solenoid in which on an axis two cylindrical rods from soft magnetic material between which takes places PM the cylindrical form are had, having nonlinear characteristic $M(H)$.

The model allows providing sweeping convergence of sequence of approximate solutions and enough pinpoint accuracy of definition of parameters of a magnetic field at rather small amount of elements of a digitization that allows using it in naturno-modeling experiment. The time of definition of a curve of demagnetization of a material of examinee PM does not exceed 20 sec about a lapse no more than 3%. Tests have shown, that application of the developed model allows defining magnetic characteristics of material PM with sufficient accuracy and high speed.

**D-03-01 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДЕМПФЕР НОВОГО ПОКО-
ЛЕНИЯ ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Е.В. Сидоров¹, Р.И. Тюкавин²

¹Владимирский государственный университет, Россия, 600000,
Владимир, ул. Горького, 87, ferromag@inbox.ru

²ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им.
С.П.Королева», Россия, 141070 Московская обл., г. Королев, ул. Лени-
на, 4 А, post@rsce.ru

Электромагнитные демпферы (ЭМД) используют для гашения колебаний и кинетических энергий при стыковке космических аппаратов (КА), а также иных объектов и механизмов. Такие демпферы образуют амортизационную систему электромеханических стыковочных механизмов. Входной величиной является угловая скорость, пропорциональная скорости перемещения штанги при стыковке, выходной – возникающий на валу момент, пропорциональный угловой скорости вращения. Принцип действия ЭМД основан на взаимодействии результирующего магнитного поля в зазоре с вихревыми токами, наводимыми во вращающемся роторе. ЭМД с постоянными магнитами наиболее просты по конструкции, не требуют управления, не нуждаются во внешнем источнике энергии, надежны в работе.

В настоящей работе выполнены расчеты и разработана принципиально новая конструкция ЭМД, которая обеспечивает надежную работу изделия в широком диапазоне вращения выходного вала (от 100 до 3000 об/мин) и создает тормозной момент, равный 6,5 кгс · см при 3000 об/мин и массе ЭМД, равной 0,55 кг.

Новая конструкция ЭМД прошла все испытания и используется для комплектации серийных изделий ракетно-космической техники.

D-03-01 **ELECTROMAGNETIC DAMPER OF A NEW GENERATION FOR SPACE TECHNIQUE**

E.V. Sidorov¹, R.I. Tyukavin²

¹Vladimir state university, Russia, 600000, Vladimir, Gorky St., 87,
ferromag@inbox.ru

²JSC “Rocket-space corporation “Energy” named after S.P. Korolyov”,
Russia, 141070 Moscow Region, Korolyov, Lenin St., 4 A, post@rsce.ru

Electromagnetic dampers (EMD) are applied to suppress oscillations and kinetic energies during docking of spacecrafts and other objects and machines. Such dampers form a shock absorber system of electromechanical docking mechanisms. The input quantity is the angular speed proportional to the travel speed of the bar at docking, the output quantity is the moment arising at the shaft, which is proportional to the angular rotation speed. The operation principle of EMD is based on the interaction of the resulting magnetic field in the gap with eddy currents generated in the rotating rotor. EMDs with permanent magnets have the most simple design, need neither control nor external energy source, are safe at operation.

In the present work computations have been carried out and a principally new design of EMD has been developed, which ensures reliable performance of the article in a wide range of the rotation speed of the output shaft (from 100 up to 3000 rev/min) and produces the braking moment equal to 6.5 kg s · cm at 3000 rev/min and the EMD's mass of 0.55 kg.

The new design of EMD has passed all tests and is applied in mass produced articles of rocket space techniques.

D-03-02

**НОВЫЕ УНИПОЛЯРНЫЕ И МНОГОПОЛЮСНЫЕ
КОЛЬЦЕВЫЕ МАГНИТЫ**

В.Н. Бекетов, В.Н. Москалёв, А.В. Огурцов
ООО «ПОЗ-Прогресс», Россия, 624092, г. Верхняя Пышма
Свердловской области, ул. Петрова, 59, poz-progress@yandex.ru

“Новизна” наших магнитов заключается в достижении максимальной радиальной магнитной текстуры ($\sim 98 \div 100$ %), сочетающейся с высокой механической прочностью в широком диапазоне отношений внутреннего и внешнего диаметров – ($30 \div 90$ %). Ранее такое сочетание считалось невозможным [1,2,3] из-за большой разницы температурных коэффициентов расширения материала вдоль и поперёк текстуры редкоземельных материалов на основе сплавов Sm-Co и Nd-Fe-B.

Освоен ряд типоразмеров редкоземельных магнитов с внешним диаметром от 30 до 75 мм, внутренним - от 15 до 50 мм с остаточной индукцией B_r до 1,12 Тл и коэрцитивной силой B_{Hc} до 840 кА/м для магнитов КС25ДЦ [4].

Униполярные магниты на основе Nd-Fe-B с $B_r \sim 1,22$ Тл использованы в магнитной системе для установки магнитного охлаждения [5, 6].

Разработана технология и изготовлены опытные механически прочные многополюсные кольцевые магниты. Предполагается применение монолитных многополюсных магнитов в роторах с оптимальной текстурой в магнитных муфтах и вентилях двигателях взамен наборных [7].

[1] М. S. Wolmer. «Магниты из сплавов редкоземельных металлов с кобальтом», Москва, Металлургия, 1978, стр. 235-237.

[2] Савич А.Н. Антонов В.В. VII Всесоюзная конференция по постоянным магнитам. Тезисы, г. Владимир 20-24.09.1982 г, с. 91.

[3] Попов А.Г., Майков А.Г. Материалы международного симпозиума «Исследование проблем создания магнитных систем ...», г. Суздаль, 1990 г., с. 147-157.

[4] Технические условия ТУ 6391-005-55177547-2008, г. В. Пышма, 2008 г.

[5] S.V. Taskaev, V.D. Buchelnikov, I.V. Bychkov, V.N. Beketov, D.V. Taranov. The effective magnetic system for the magnetocaloric refrigerator, The 3rd International Conference of IIR on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Des Moines, Iowa, U.S.A., 2009.

[6] В.Н. Бекетов, В.Н. Москалёв, А.В. Огурцов, Д.В. Таранов, С.В. Таскаев, В.Д. Бучельников, Л.В. Бычков, Е.И. Каневский. Осесимметричные магнитные системы ступенчатого типа с применением униполярных кольцевых магнитов. МКПМ-17. Тезисы. Сентябрь 2009 г.

[7] Р.А. Келин, А.Г. Поляков, М.К. Рязанцев. Материалы международного симпозиума «Исследование проблем ...», г. Суздаль, 1990 г., с. 36-43.

D-03-02

NEW UNIPOLAR AND MULTIPOLAR ANNULAR
MAGNETS

V.N. Beketov, V.N. Moskalev, A.V. Ogurtsov
LLC “POZ- Progress”, Russia, 624092, Sverdlovsk region, V. Pyshma, Pet-
rov st., 59, poz-progress@yandex.ru

“Novelty” of our magnets consists in reaching of the maximum radial magnetic texture (~98÷ 100%), which is combined with the high mechanical strength over a wide range of the relations of inside and outside diameters - (30÷90) %. This previously combination was considered impossible [1,2,3] because of the large difference of the temperature coefficients of the expansion of material along and across the texture of rare-earth materials on the basis of alloys Sm-Co and Nd-Fe-B.

A number of the standard sizes of rare-earth magnets with a outside diameter of from 30 to 75 mm is mastered, internal - from 15 to 50 mm with the remanent induction B_r to 1,12 T and the coercive force of B_{H_c} to 840 kA/m for the magnets KS25 [4].

Unipolar magnets on basis Nd-Fe-B from $B_r \sim 1,22$ T are used in the magnetic system for the installation of magnetic cooling [5, 6].

Technology is developed and experimental mechanically durable multipolar annular magnets are prepared. Is assumed the application of monolithic multipolar magnets in the rotors with the optimum texture in the magnetic clutches and the thyatron motors instead of setting magnets [7].

[1] M. S. Wolmer. “Magnets from the alloys of rare-earth metals with cobalt”, Moscow, Metallurgy, 1978, p. 235-237.

[2] Savich A.N. Antonov V.V. VII All-Union conference on the permanent magnets. Theses. Vladimir, 20-24.09.1982, p. 91.

[3] Popov A.G., Maikov A.G. Materials of international symposium. Suzdal, 1990, p. 147-157.

[4] TU 6391-005-55177547-2008, V. Pyshma, 2008.

[5] S.V. Taskaev, V.D. Buchelnikov, I.V. Bychkov, V.N. Beketov, D.V. Taranov. The effective magnetic system for the magnetocaloric refrigerator, The 3rd International Conference of IIR on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Des Moines, Iowa, U.S.A., 2009.

[6] V.N. Beketov, V.N., Moskalev, A.V. Ogurtsov, D.V. Taranov, S.V. Taskaev, V.D. Buchelnikov, I.V. Bychkov, E.I. Kanevsky. Stepped type axisymmetrical magnetic systems with the application of unipolar annular magnets. ICPM XVII. Theses. September 2009.

[7] R.A. Kelin, A.G. Polyakov, M.K. Ryazantsev. Materials of international symposium. Suzdal, 1990, p. 36-43.

D-03-03

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

С.В.Грибанов¹, Ю.В. Кулаев¹, П.А. Курбатов¹, О.Л. Полущенко²

¹Московский энергетический институт (Технический университет),
Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14,
kurbatovpa@mpei.ru

²МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований магнитных полей создаваемых постоянными магнитами и аналогичными по форме образцами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов (ВТСП).

Для расчетов электромагнитного поля в электротехнических устройствах, содержащих элементы из ВТСП, разработан специальный метод, который построен на основе общей системы пространственных интегральных уравнений для квазистационарного электромагнитного поля. Метод апробирован на двух моделях нелинейных электрофизических свойств ВТСП [1]. Первая модель, известная ранее, представлена в виде гиперболической функции удельного электрического сопротивления материала от плотности тока, магнитной индукции и температуры. Вторая модель электрофизических свойств, предложенная в работе, определена Г-образными зависимостями плотности тока от напряженности электрического поля. В свою очередь плотность тока зависит от магнитной индукции и температуры.

Исследования выполнены для двух образцов иттриевой керамики (YBCO): в виде диска (осесимметричная задача) и для прямоугольной призмы (трехмерная задача). Достоверность полученных теоретических результатов подтверждена данными экспериментальных исследований. Магнитные поля образцов из ВТСП сопоставлены с аналогичными по форме постоянными магнитами из сплава NdFeB. Отмечены принципиальные различия источников магнитного поля из этих материалов, которые должны учитываться при их практическом применении.

[1] Грибанов С.В., Кулаев Ю.В., Курбатов П.А., Матвеев В.А., Нижельский Н.А., Полущенко О.Л. Расчет магнитных систем с элементами из высокотемпературных сверхпроводящих материалов. – Электричество, 2002, №2

**D-03-03 THE COMPARATIVE ANALYSIS OF MAGNETIC FIELDS
OF PERMANENT MAGNETS AND PRODUCTS FROM
HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS**

S.V.Gribanov¹, J.V.Kulaev¹, P.A.Kurbatov¹, O.L.Polushchenko²

**¹The Moscow Power Engineering institute (Technical university), Russia, 111250, Moscow, street Krasnokazarmennaja, 14,
kurbatovpa@mpei.ru**

**²Moscow State Technical University n.a. N.E. Bauman, Russia, 105005,
Moscow, 2-nd Baumanskaya 5**

In this paper presented results of theoretical and experimental researches of magnet fields created by permanent magnets and analogous samples from high-temperature superconductors (HTSC).

For calculations of an electromagnetic field in the electrotechnical devices containing elements from HTSC, the special method which is built on the basis of the general system of the space integrated equations for quasi-steady electromagnetic field is developed. The method is approved on two models of nonlinear electrophysical properties HTSC [1]. The first model, known earlier, is presented in the form of a hyperbolic function of specific electric resistance material from density of a current, induction density and temperature. The second model of electrophysical properties offered in-process, is defined by G-shaped dependences of density of a current from electric field. In turn the current density depends on induction density and temperature.

Researches are executed for two samples yttrium ceramics (YBCO): in the form of a disk (an axisymmetric problem) and for the right-angle prism (a three-dimensional problem). Reliability of the gained theoretical results is confirmed by data of experimental researches. Magnet fields of samples from HTSC are compared with analogous permanent magnets from alloy NdFeB. Basic differences of sources of a magnet field from these materials which should be considered at their practical application are noted.

[1].Gribanov S.V, Kulaev J.V., Kurbatov P. A, Matveev V. A, Nizhelskij N.A., Polushchenko O. L. Calculation of magnetic systems with elements from high-temperature superconductors. – an electricity, 2002, №2

D-03-04

ГИБРИДНЫЙ КРИОГЕННЫЙ МАГНИТ

Е.П. Красноперов¹, А.А. Картамышев¹, Д.И. Пузанов¹**О.Л.Полущенко², Н.А. Нижельский²****¹РНИЦ Курчатовский Институт, 123182, Москва, kep@issph.kiae.ru****²МГТУ им. Баумана, 105005, Москва**

Изготовлен гибридный магнит, который состоит из двух пермендюрных цилиндров диаметром 16 мм и длиной 20 мм, расположенных соосно с зазором 1,5 мм. Каждый цилиндр охватывает сверхпроводящее кольцо внешним диаметром 38 мм и толщиной 11 мм из монодоменного сверхпроводника Y-Ba-Cu-O. Исследуемая система погружалась в жидкий азот ($T=78\text{K}$). Намагничивание магнита осуществлялось импульсной катушкой, создающей поле в виде полу синусоиды длительностью 10 мс и амплитудой $H_a \approx 1,2-1,4\text{Тл}$. Направление импульсного поля в эксперименте оставалось неизменным. Изучены характеристики магнита при импульсном намагничивании и определена стабильность поля.

В результате многократного импульсного намагничивания в зазоре магнита достигнуто квази постоянное поле $B \approx 2,2\text{Тл}$. При амплитудах $H_a \geq 1,5\text{ Тл}$ разрушались кольцевые сверхтоки, и поле в зазоре меняло направление на обратное, величиной до $B \approx 0,6\text{ Тл}$.

Из-за релаксации потока (крипа), характерной для сверхпроводников, поле со временем изменяется. Скорость релаксации и ее знак зависят от величины намагниченности. Если поле в зазоре меньше $H \leq 1,8\text{ Тл}$, то оно со временем увеличивается! Вблизи максимума намагниченности поле со временем снижается. Выбором амплитуды импульсов можно создать девиацию поля вблизи выбранного значения. Например, для поля $B \approx 0,74\text{ Тл}$ импульс амплитудой $H_a \approx 1,1\text{ Тл}$ скачком снижает поле, а затем оно линейно возрастает в логарифмическом масштабе времени со скоростью $S = d \ln B / dt = 0.00237$.

Учитывая, что в настоящее время плотности сверхтоков в монодоменных сверхпроводниках достигают $J_c = 10\text{ кА/см}^2$ (78K), а при охлаждении до 68K происходит 3-х кратный рост J_c , следует ожидать появление гибридных магнитов с полем 4-5 Тл, работающих при азотной температуре в режиме логарифмической девиации поля.

D-03-04

HYBRID CRYOGENIC MAGNET

**E.P.Krasnoperov¹, A.A.Kartamyshev¹, D.I. Puzanov¹,
O.L.Polushchenko², N.A.Nizelskij²**

¹**Kurchanov Institute, 123182, Moscow, kep@isssp.kiae.ru**
²**Bauman MSTU, 105005, Moscow**

Original Hybrid magnet was made. Magnet has two permenodyur cylinder (\varnothing 16 mm and 20 mm length) with gap 1.5mm. Each cylinder is put superconducting single domain Y-Ba-Cu-O bulk ring (outside diameter \varnothing 38 mm and thickness 11 mm). System is immersed in liquid Nitrogen ($T=78K$). Magnetization of hybrid magnet were carry out by pulsed coil which generates field in form of a half sinusoidal. Pulse amplitude was $H_a \approx 1,2-1,4T$; duration ≈ 10 ms. Direction of magnetization field was fixed during experiment. In this work we investigate the field trapped behavior under multi pulse magnetization and field stability.

As a result of multi pulse magnetization a quasi-steady field $B \approx 2.2$ T in the magnet gap was reached. Amplitudes $H_a \geq 1.5$ T destroyed ring's supercurrents, and a field changed its direction to opposite, to value of up to 0.6 T.

Due to flux relaxation known in superconductors as a creep, the magnetic field changes in time. In Hybrid magnet the value and sign of relaxation rate depend on magnetization. If field in gap is less $B < 1.8$ T, then one increases in time! Near the magnetization maximum B reduces in time.

Choosing of pulse amplitude it is possible to make a field deviation near the selected value. For example at field $B \sim 0.74$ T after pulse amplitude $H_a \sim 1.1T$ the field jumps down and then increases linearly in a logarithmic time scale with rate $S = d \ln B / dt = 0.00237$.

At present, the density of supercurrents in single domain superconductors achieve $J_c = 10$ kA/cm² (78K), and on cooling to 68K one increase ~ 3 time. One should expect the emergence of hybrid magnet with a field of 4-5 T, operating at nitrogen temperature.

**D-03-05 НИЗКООБОРОТНЫЕ И БЫСТРОХОДНЫЕ ЭЛЕКТРО-
ГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ МАГНИТОВ Nd-Fe-B**
В.В. Котунов

Научно-производственное объединение «ЭРГА» освоило в производстве низкооборотные электрогенераторы для ветротехники (Таблица 1).

Таблица 1

Модель	<u>ГВ-03/1200-28-12Г</u>	<u>ГВ-03/250-220-22В</u>	<u>ГВ-05/650-30-12Г</u>	<u>ГВ-1/620-55-12Г</u>	<u>ГВ-1,5/620-75-12Г</u>	<u>ГВ-2/620-110-12Г</u>	<u>ГВ-5/300-220-11Г</u>	<u>ГВ-10/200-220-21Г</u>	<u>ГВ-30/100-240-21В</u>
Номинальная мощность, кВт	0,3	0,3	0,5	1	1,5	2	5	10	30
Частота вращения, об/м	1200	250	650	650	650	650	300	180	100
Номинальное напряжение, В	28,5	220	30	55	75	110	220/380	220/380	240/400
Вес, кг	2,4	23	8,5	12	17	22	110	200	550
Габаритные размеры, мм (диаметр/длина с валом/длина без вала)	96x112x112	450x216x141	180x150x110	180x180x140	180x220x185	180x250x210	110x440x310	824x329x224	1000x505x358
Материал магнита	NdFeB								
Конфигурация генератора	Трехфазный переменного тока								
Момент страгивания, НМ	0,15	<0,01	<1	<1	<1	<1	<6	<10	<90
КПД, %	82	82	85	85	85	85	85	95	90

А также высокооборотные генераторы мощностью до 100 кВт и оборотами до 100000 в мин. (Таблица 2).

Таблица 2

Модель	Номинальная мощность, кВт	Обороты номинальные, об/мин	Максимальные обороты, об/мин	Вес, кг
ВГ-03/25,0	0,3	25000	30000	0,8
ВГ-10/70,0	10	70000	100000	4
ВГ-100/24,0	100	24000	30000	60

**D-03-05 НИЗКООБОРОТНЫЕ И БЫСТРОХОДНЫЕ ЭЛЕКТРО-
ГЕНЕРАТОРЫ НА ОСНОВЕ МАГНИТОВ Nd-Fe-B**
В.В. Котунов

Научно-производственное объединение «ЭРГА» освоило в производстве низкооборотные электрогенераторы для ветротехники (Таблица 1).

Таблица 1

Модель	<u>ГВ-03/1200-28-12Г</u>	<u>ГВ-03/250-220-22В</u>	<u>ГВ-05/650-30-12Г</u>	<u>ГВ-1/620-55-12Г</u>	<u>ГВ-1,5/620-75-12Г</u>	<u>ГВ-2/620-110-12Г</u>	<u>ГВ-5/300-220-11Г</u>	<u>ГВ-10/200-220-21Г</u>	<u>ГВ-30/100-240-21В</u>
Номинальная мощность, кВт	0,3	0,3	0,5	1	1,5	2	5	10	30
Частота вращения, об/м	1200	250	650	650	650	650	300	180	100
Номинальное напряжение, В	28,5	220	30	55	75	110	220/380	220/380	240/400
Вес, кг	2,4	23	8,5	12	17	22	110	200	550
Габаритные размеры, мм (диаметр/длина с валом/длина без вала)	96x112x112	450x216x141	180x150x110	180x180x140	180x220x185	180x250x210	110x440x310	824x329x224	1000x505x358
Материал магнита	NdFeB								
Конфигурация генератора	Трехфазный переменного тока								
Момент страгивания, НМ	0,15	<0,01	<1	<1	<1	<1	<6	<10	<90
КПД, %	82	82	85	85	85	85	85	95	90

А также высокооборотные генераторы мощностью до 100 кВт и оборотами до 100000 в мин. (Таблица 2).

Таблица 2

Модель	Номинальная мощность, кВт	Обороты номинальные, об/мин	Максимальные обороты, об/мин	Вес, кг
ВГ-03/25,0	0,3	25000	30000	0,8
ВГ-10/70,0	10	70000	100000	4
ВГ-100/24,0	100	24000	30000	60

D-03-06 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ СЕПАРАТОРОВ

Тагунов П.Е.¹, Тагунов Е.Я.², Пучков В.А.³¹ МГГУ, Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 6,
modezt@gmail.com² ООО «МАГНЕТИТ», Россия, 117393, Москва, ул.Гарibaldi 24,
etagnov@fe3o4.com³ ИЗМИРАН, Россия, 142190, г.Троицк, Московской обл.,
puchkov@izmiran.ru

Многообразие конструкций магнитных систем, появившихся в последние годы, поставило перед пользователями задачу выработки критериев оценки систем по их эффективности, поскольку провести сравнительные испытания многих систем не представляется возможным. Определение оптимальных параметров магнитного поля является трудностью и для конструкторов. Главным критерием при оценке силовых характеристик магнитной системы вместо напряженности магнитного поля H становится величина силового параметра $H_{grad}H$. Обычно стремятся обеспечить максимальное значение силового параметра, пусть и в очень малой области. Однако, открытыми остаются многие вопросы, связанные с оценкой эффективности системы. Например, размер области, в которой значение силового параметра лежит в заданном диапазоне, как правило, не оценивается ни при конструировании системы, ни при её испытаниях.

Нами предложена методика оценки эффективности магнитных систем, ориентированная на определение объемов рабочей области, где величина силового параметра не выходит за границы заданных пороговых величин. На практике чаще всего задаётся нижняя граница силового параметра, лежащая в области, где магнитные силы сравнимы с силами, препятствующими извлечению (гравитационными, инерционными, трения и др.). Для оценки эффективности введён ряд понятий и параметров:

Эффективный динамический объем магнитной системы по порогу P – объем той части рабочего пространства системы, в которой величина силового параметра $H_{grad}H$ выше заданного порога P .

F – динамическая эффективность магнитной системы по порогу P – отношение величины эффективного динамического объема по порогу P к полной величине рабочего объема системы.

Характеристическая кривая динамической эффективности магнитной системы – зависимость динамической эффективности магнитной системы по порогу P от величины P . В работе проведен сравнительный анализ эффективности ряда конструкций магнитных систем по их извлекающей и удерживающей способности на основе сравнения характеристических кривых динамической эффективности.

D-03-06 EVALUATION OF EFFICIENCY FOR MAGNETIC SYSTEMS OF SEPARATORS**P.E.Tagunov¹, E.Ya.Tagunov², V.A.Puchkov³****¹MGGU, Leninsky prosp., 6, Moscow, 119049, Russia, modezt@gmail.com****²Magnetite Co., Ltd., Garibaldi str., 24, Moscow, 117393, Russia, etagusov@fe3o4.com****³IZMIRAN, Troitsk, Moscow region, 142190, Russia, puchkov@izmiran.ru**

A wide variety of magnetic system designs developed for the past few years forces the users to elaborate criteria of the systems efficiency, as comparative tests of these systems seem to be hardly possible. Often designers of new systems also not clearly enough figure to themselves what set of parameters would be optimal for a specific task. The value of force parameter $H \cdot \text{grad}H$ is getting more and more the principal criterion for the magnetic system evaluation, instead of the magnetic field strength H . As usual, the designer's purpose reduces to increasing the force parameter, even in a small volume. But many problems related to estimation of the system efficiency still remain unsolved. In particular, very often the question is skipped about increasing the region where the force parameter does not drop below some predefined value. As a rule, the dimensions of such a region are not evaluated both during computation of the system parameters and in the process of the system testing

We propose a way of estimation of magnetic system efficiency based on finding the working region volume where the force parameter does not drop below some predefined threshold values. As during magnetic separation the ponderomotive forces always compete with other forces (gravitational, inertial, frictional, etc.), we usually specify a lower boundary of the force parameter in a range where magnetic forces are comparable with competitive forces preventing extraction. Transition through this boundary means abrupt reduction in extraction efficiency. To evaluate the efficiency we introduce several definitions and parameters: *effective dynamic volume of magnetic system with respect to threshold P* - the volume of the working space of the system where the force parameter $H \cdot \text{grad}H$ exceeds given threshold; *dynamic efficiency of magnetic system with respect to threshold P* - the ratio of effective dynamic volume of magnetic system with respect to threshold P and the total working volume of the system; *characteristic curve of the dynamic efficiency of the magnetic system* - the dependence on threshold P of the dynamic efficiency of magnetic system with respect to threshold P.

In our work we compare the efficiency of a number of magnetic system designs on the basis of their extracting and holding ability by analyzing characteristic curves of dynamic efficiency.

D-03-07C **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И
ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ
МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ**

К.А. Андреев, А.С. Перминов, А.С. Старикова

Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., д.4

Стержневые магнитные сепараторы (далее СМС) имеют дискретный цикл очистки от сепарированной на рабочей поверхности ферро- магнитной примеси (далее ФМП). В связи с этой особенностью конструкции, указанная примесь, впрочем не удаленная, может: 1. уменьшить пропускную способность сепаратора, вплоть до возникновения засора; 2. значительно уменьшить коэффициент сепарации, вплоть до прекращения самого процесса сепарирования примеси.

Испытания различных конструкций СМС показали, что существуют характерные для данной конструкции и состояния зависимости от времени работы без очистки пропускной способности СМС, массы сепарированной ФМП, коэффициента сепарации.

В зависимости от требований технологического процесса включающего СМС, его конструкция должна исключать при нарушении режима автоматической очистки или возможность засора или возможность полного экранирования магнитного поля стержней СМС сепарированной на ней ферромагнитной примесью. Испытания на стенде позволяют достоверно оценить вариант поведения СМС определенной конструкции при работе на определенном сырье.

Обнаружено, что в начале рабочего цикла происходит резкое падение и пропускной способности сепаратора и коэффициента сепарации. Затем через некоторое время скорость падения гиперболически уменьшается и происходит либо засор (пропускная способность становится равной нулю) либо накопленная примесь экранирует магнитное поле сепаратора (тогда коэффициент сепарации становится равным нулю).

Сопоставление зависимостей с требованиями к технологическим характеристикам сепаратора (степень сепарации, пропускная способность) дает возможность оптимизировать длительность рабочего цикла, количество магнитных стержней и индукцию на поверхности магнитных стержней (а значит и применяемые постоянные магниты, их количество и интервал между ними в магнитном стержне), в результате чего себестоимость стержневого магнитного сепаратора может быть снижена на 30%, затраты на его эксплуатацию уменьшены в несколько раз при гарантированном соблюдении условий безопасной эксплуатации и качества сепарации.

[1] G. Gillet and V. Bureau, "Separation Magnetique: Applications," Mines Carrieres, vol. 74, pp. 95-111, Oct. 1992.

[2] Равдин А., Темиров., Дормидонтов А.Г. «Магнитные сепараторы на службе безопасности» // «Хлебопродукты» № 9, 2002 г., стр.26-27.

D-03-07C SOME PARTICULARITIES TO USAGES AND OPTIMIZATION TO DESIGNS PIVOTAL MAGNETIC SEPARATOR

K.A. Andreev, A.S. Perminov, A.S. Starikova

**State Technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys",
Russia, 119049, Moscow, Leninskiy pr. 4, AkirillA@mail.ru**

The Pivotal magnetic separators (hereinafter PMS) have a discrete cycle peelings from separations on worker of the surfaces ferromagnetic admixture (hereinafter FMA). In connection with this design feature, specified admixture, in time not removed, can: 1. to reduce reception capacity of the separator, up to origin litter;silt; 2. vastly to reduce the factor an separation, up to cessation most process separations admixture.

Test different design SMS have shown that exist typical of given to designs and conditions to dependencies from time of the work without peelings of reception capacity SMS, masses separations FMA, factor separation.

Depending on requirements of the technological process including PMS, his(its) design must exclude at breach of the mode automatic peelings or possibility litter;silt or possibility of the full screening the magnetic field pivots PMS separations on her ferromagnetic admixture. Test on stand allow realistically to value the variant of the behaviour PMS determined designs when functioning(working) on determined raw material.

It Is Discovered that at the beginning initially worker of the cycle occurs the sharp fall and reception capacity of the separator and factor separation. Then in a certain time velocity falls hyperbolic decreases and proceed or litter;silt (reception capacity becomes the equal zero) or dug admixture shields the magnetic field of the separator (then factor separations becomes the equal zero).

The Collation of the dependencies with requirements to technological feature of the separator (the degree separations, reception capacity) enables to optimize duration a worker cycle, amount magnetic pivots and induction on surfaces magnetic pivots (but signifies and applicable constant magnets, their amount and interval between them in magnetic pivot) with the result that prime cost of the pivotal magnetic separator can be reduction on 30 %, expenseses on his(its) usage are reduced in several times under guaranteed observance of the conditions to safe usage and quality separation.

[1] G. Gillet and V. Bureau, "Separation Magnetique: Applications," Mines Carrieres, vol. 74, pp. 95-111, Oct. 1992.

[2] Равдин А., Темиров., Дормидонтов А.Г. «Магнитные сепараторы на службе безопасности» // «Хлебопродукты» № 9, 2002 г., стр.26-27.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

PLENARY SESSION

ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ ИЗ ПЛАСТИНЧАТЫХ СПЛАВОВ Nd-Fe-B С $(BH)_{max}$ ДО 50 МГсЭ

**А.Г. Попов¹, Н.В. Кудреватых², В.П. Вяткин³, Д.Ю. Василенко³,
Д.Ю. Братушев³, Т.З. Пузанова¹**

¹ *Институт физики металлов УрО РАН, 620041, Екатеринбург*

² *Уральский государственный университет, 620083, Екатеринбург*

³ *НПП «Неомаг», 620137, Екатеринбург*

Повышение максимального энергетического произведения $(BH)_{max}$ в спеченных магнитах Nd-Fe-B достигается по пути приближения состава к стехиометрии Nd₂Fe₁₄B. При этом возникает две проблемы: (1) в сплавах уменьшается количество межзеренной фазы, обогащенной Nd, что затрудняет использование преимуществ жидкофазного спекания; (2) появляются дендриты первичных кристаллов α -Fe. Эти две причины препятствуют реализации высоких значений коэрцитивной силы в магнитах. Оба негативных фактора преодолеваются внедрением в технологию быстрозакаленных пластинчатых сплавов Nd-Fe-B, приготовленных по методу «strip casting».

В настоящей работе представлены результаты детальной оптимизации технологической схемы получения высокоэнергоемких спеченных магнитов, используя пластинчатые сплавы с содержанием Nd от 29 до 32 вес%. После водородного охрупчивания сплавов порошки подвергали струйному измельчению в атмосфере азота до среднего размера частиц по Фишеру около 3 мкм. Для уменьшения содержания кислорода в магнитах последующую обработку порошков проводили без контакта с воздухом. Помешенные в эластичные матрицы порошки текстуровали в импульсном поле и затем компактировали либо в гидростате, либо в пресс-электромагните. Прессовки спекали в вакууме в интервале температур 1050 – 1100 °С после чего проводили дополнительную двухступенчатую термообработку спеченных магнитов при $T_1 = 900$ °С и $T_2 = 450 - 700$ °С.

Полученные магниты имели плотность 7,50 – 7,57 г/см³, содержание кислорода около 3000 ppm и степень текстуры 93 – 95%. Достигнуты следующие гистерезисные характеристики в магнитах из сплавов с различным содержанием неодима:

32%Nd – $B_r = 13,4$ кГс; $BH_c = 10,5$ кЭ; $MH_c = 11,0$ кЭ; $(BH)_{max} = 42$ МГсЭ

31,2%Nd – $B_r = 13,7$ кГс; $BH_c = 9,5$ кЭ; $MH_c = 10,0$ кЭ; $(BH)_{max} = 43,5$ МГсЭ

30%Nd – $B_r = 14,3$ кГс; $BH_c = 9,0$ кЭ; $MH_c = 9,5$ кЭ; $(BH)_{max} = 48$ МГсЭ

29%Nd – $B_r = 14,5$ кГс; $BH_c = 8,5$ кЭ; $MH_c = 9,0$ кЭ; $(BH)_{max} = 50$ МГсЭ

Работа выполнена в рамках государственного контракта №

02.513.11.3397 с Федеральным агентством по науке и инновациям.

PERMANENT MAGNETS MADE FROM STRIP-CAST Nd-Fe-B ALLOYS WITH $(BH)_{max}$ UP TO 50 MGOe

**A.G. Popov¹, N.V. Kydrevatykh², V.P. Vyatkin³, D.Yu. Vasilenko³,
D.Yu. Bratushev³, T.Z. Puzanova¹**

¹ *The Institute of Metal Physic, Ural branch of RAS, 620041, Yekaterinburg*

² *The Ural State University, 620083, Yekaterinburg*

³ *NPP «Neomag», 620137, Yekaterinburg*

An increase of the maximum energy product $(BH)_{max}$ in the sintered Nd-Fe-B magnets can be achieved through composition approaching the Nd₂Fe₁₄B stoichiometry. At this point two problems arise: (1) the amount of the intergranular Nd-rich phase is reduced in the alloys which makes it difficult to use the liquid-phase sintering; (2) dendrites of primary α -Fe crystals appear. These two reasons impede the realization of high coercivity in the magnets. Both negative factors can be overcome by the introduction into the technology of the Nd-Fe-B alloys prepared by the «strip casting» method.

In this work are presented the results of detailed technological optimization to obtain high-energy sintered magnets using strip-cast alloys with Nd content from 29 to 32 wt%. After hydrogen decrepitation of the alloys the powders were jet-milled in a nitrogen atmosphere up to the average particle size of about 3 μ m, as measured by a Fisher Sub-Sieve Sizer. In order to decrease the oxygen content in the magnets the following powder processing was conducted without the contact with air. The powders, put into elastic matrices, were aligned in a pulse field and then compacted either in a hydrostat or in a press-electromagnet. The green compacts were sintered in vacuum in the temperature range 1050 – 1100°C after which additional two-stage heat treatment of the sintered magnets was carried out at $T_1 = 900$ °C and $T_2 = 450 - 700$ °C.

The magnets obtained had the density of 7.50 – 7.57 g/cm³, oxygen content about 3000 ppm and degree of alignment 93 – 95%. The following hysteresis properties have been achieved in magnets made from alloys with different neodymium content:

32% Nd – $B_r = 13.4$ kG; $BH_c = 10.5$ kOe; $MH_c = 11.0$ kOe; $(BH)_{max} = 42$ MGOe
 31.2% Nd – $B_r = 13.7$ kG; $BH_c = 9.5$ kOe; $MH_c = 10.0$ kOe; $(BH)_{max} = 43.5$ MGOe
 30% Nd – $B_r = 14.3$ kG; $BH_c = 9.0$ kOe; $MH_c = 9.5$ kOe; $(BH)_{max} = 48$ MGOe
 29% Nd – $B_r = 14.5$ kG; $BH_c = 8.5$ kOe; $MH_c = 9.0$ kOe; $(BH)_{max} = 50$ MGOe

The work was supported by the Government Contract # 02.513.11.3397 with the Federal Agency for Science and Innovations and the RAS Program # 27.

СПИСОК УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Андреев В.Н.	D-02-03	Вяткин В.П.	A-02-01
Андреев К.А.	C-01-11C		A-02-02
	C-01-12C		A-02-03
	D-03-07C	Гавико В.С.	A-02-04
Андреев С.В.	A-02-07	Гадючко А.А.	C-01-01
	A-02-08		C-01-04
	B-01-03	Галяс А.И.	A-02-10C
Ариничева О.А.	A-01-03		C-01-10C
Афанасьева И.А.	D-02-07	Герасимов Е.Г.	A-02-03
	D-02-08	Герасимов М.В.	A-03-07
Баумбах Й.	C-01-01	Глебов А.В.	A-02-07
Бахвалов Ю.А.	D-02-09C	Гобатенко Н.И.	C-01-05
Бекетов В.Н.	D-01-03	Голубков А.Г.	B-01-05
	D-03-02		B-01-06
Белова Л.М.	A-01-05	Голубьев А.В.	A-03-07
Богуш А.К.	A-02-10C	Горбатенко Н.И.	C-01-06
Бойков П.В.	C-01-02		C-01-07
Боровой В.В.	C-01-05		C-01-01
Братушев Д.Ю.	A-02-02		C-01-09C
	A-02-03		D-02-09C
Бузенко А.В.	A-02-09C	Горбунов Д.И.	A-02-04
Бурханов Г.С.	A-02-09C	Грачева И.М.	B-01-14C
Буслов О.Ю.	D-01-07	Гречихин В.В.	C-01-01
Бучельников В.Д.	D-01-03		C-01-09C
Бычков И.В.	D-01-03		D-02-09C
Валеев Р.А.	A-01-11C	Грибанов С.В.	D-03-03
	A-02-09C	Гусев М.Ю.	C-01-08
	B-01-02	Давыдова Е.А.	A-01-11C
Василенко Д.Ю.	A-02-01		A-02-09C
	A-02-02	Даньшин В.В.	D-02-01
	A-02-03	Дегтева О.Б.	A-01-10C
Введенский В.Ю.	A-03-09C	Демиденко О.Ф.	A-02-10C
Винтайкин Б.Е.	B-01-04		C-01-10C
Власов А.И.	D-01-08	Дергачев П.А.	D-01-04
Власюга А.В.	A-02-01	Динисламова Э.Х.	B-01-14C
Волегов А.С.	A-02-07	Дормидонтов А.Г.	A-02-06
Волокитина Е.В.	D-01-08		D-01-01

XVII-th International conference on permanent magnets

Дроздов С.С.	D-01-01	Крапошин В.С.	B-01-04
Дубовой В.А.	C-01-08	Красноперов Е.П.	D-03-04
Дьячков М.В.	A-02-01	Кудреватых Н.В.	A-02-02
Дятлова Т.В.	A-03-06		A-02-03
Ермилов А.В.	B-01-08		A-02-07
Ефремов А.А.	D-02-06	Кузнецова Е.А.	D-01-06
Жуков Д.Г.	A-03-09C	Кузнецова Л.В.	D-02-07
	A-03-01	Кузнецова Ю.В.	A-01-10C
	A-03-08C	Кулаев Ю.В.	D-01-06
	B-01-14C		D-03-03
Зезюлина П.А.	A-01-02	Кумзеров Ю.А.	A-01-09C
Зинин А.В.	A-02-05	Курбатов П.А.	D-01-04
	A-02-08		D-01-05
	B-01-03		D-01-06
Иванова Н.В.	B-01-04		D-03-03
Иванов С.И.	B-01-02	Кыонг Н.М.	C-01-09C
Ивановская М.	B-01-12C		C-01-01
	B-01-13C		D-02-09C
Игнатенко Н.М.	A-01-07	Лабазников К.В.	B-01-05
Илларионов Ю.А.	D-02-02	Ланкин М.В.	C-01-03
Калленбах Е.	C-01-01		C-01-05
Каневский Е.И.	D-01-02	Лилеев А.С.	A-01-03
	D-01-03		A-01-04
Картамышев А.А.	D-03-04		A-03-09C
Кетов С.В.	A-03-05		A-01-08
Киреев В.А.	C-01-01	Логунов М.В.	A-03-07
	C-01-04	Ломоносов В.	B-01-12C
Клевец Н.И.	D-02-04		B-01-13C
	D-02-05	Лукин А.А.	A-02-06
	D-02-06	Любина Ю.В.	A-01-06
	D-02-07	Ляхова М.Б.	A-01-02
	D-02-08	Маковецкий Г.И.	A-02-10C
Козин А.Э.	C-01-08		C-01-10C
Костин А.В.	B-01-08	Малинина Р.И	A-03-03
Котиков Д.	B-01-12C		A-03-08C
	B-01-13C		B-01-14C
Котунов В.В.	B-01-01	Малышев П.М.	A-03-07
	B-01-04	Малютин Е.С.	A-03-09C
	D-03-05	Маркин П.Е.	A-02-07

XVII Международная конференция по постоянным магнитам

Масленников С.О.	A-03-09C	Перевозицков П.С.	A-02-06
Матрёнин А.В.	B-01-14C	Перминов А.С.	A-03-08C
Мельников В.Г.	A-01-07		A-03-09C
Мельников И.А.	B-01-06		C-01-11C
Мельников С.А.	B-01-02		C-01-12C
Менушенков В.П.	A-01-05		D-03-07C
	A-03-02	Пикунов М.В.	B-01-07
	A-03-05	Писаревский Ю.В.	D-02-02
Миляев О.А.	A-02-08	Пискорский В.П.	A-01-11C
	B-01-03		A-02-09C
Михайлин С.В.	A-03-04		B-01-02
Михайлова Т.Л.	A-02-02	Полев И.Е	A-03-03
Москалёв В.Н.	D-01-03	Полеготченков Б.В.	B-01-06
	D-03-02	Полущенко О.Л.	D-03-03
Мухо С.Б.	A-02-06		D-03-04
Мухтар А.А.	B-01-11	Попов А.Г.	A-02-01
Наракидзе Н.Д.	C-01-06		A-02-02
	C-01-07		A-02-03
Незнахин Д.С.	A-02-07		A-02-04
Нестерина А.Д.	D-02-03	Пузанова Т.З.	A-02-01
Нестерин В.А.	D-02-03	Пузанов Д.И.	D-03-04
Неустроев Н.С.	C-01-08	Путилов Ю.Г.	B-01-01
Нижельский Н.А.	D-03-04	Пучков В.А.	D-03-06
Никитин В.В.	D-01-08	Пушин В.Г.	A-02-07
Огурцов А.В.	D-01-03	Рабинович Я.Д.	D-01-09C
	D-03-02	Репина М.В.	A-01-11C
Опалев Ю.Г.	D-01-08		A-02-09C
Оспенникова О.Г.	B-01-02	Родин А.О.	A-03-02
Павлов Г.Д.	D-01-07	Родионов А.А.	A-01-07
Паничкина И.В.	A-01-04	Салев П.С.	A-01-10C
Панова Я.В.	A-02-05	Свиридова Т.А.	A-01-05
	A-02-08		A-03-02
	B-01-03	Семенова Е.М.	A-01-02
Паньков В.	B-01-12C	Сергеев В.А.	D-02-02
	B-01-13C	Сергеев К.Л.	A-02-06
Паршин А.П.	B-01-02		D-01-09C
Пастушенков А.Г.	C-01-02	Сергеев С.В.	A-02-06
Пастушенков Ю.Г.	A-01-01	Сидоров Е.В.	B-01-07
	A-01-02		B-01-08

XVII-th International conference on permanent magnets

	D-03-01	Фирсенков А.А.	D-01-07
Симонов В.В.	A-01-01		C-01-08
Сковородников С.В.	D-01-07	Фрадкин С.В.	A-03-03
Скоков К.П.	A-01-01	Чарная Е.В.	A-01-09C
Смирнов А.С.	C-01-08	Чередниченко И.В.	A-03-08C
Смирнова В.В.	B-01-05		B-01-14C
Смирнов В.В.	B-01-05	Чернов П.В.	B-01-01
Смирнов Р.Ф.	A-01-01	Шайхутдинов Д.В.	C-01-05
Соломеина Ю.В.	B-01-09	Шамбалёв В.	B-01-13C
	B-01-10	Шандровская Е.С.	A-03-06
Солошенко К.О.	B-01-06	Шарин М.К.	A-02-08
Старикова А.С.	A-01-03		A-02-05
	A-01-08		B-01-03
	C-01-12C	Шаталов В.В.	B-01-02
	D-03-07C	Шелехов Е.В.	A-01-05
	C-01-11C		A-03-02
Сташкова Л.А.	A-02-04	Широков К.И.	D-01-05
Степанов А.Е.	A-01-04	Широков К.М.	C-01-03
Столяров В.Л.	A-01-06	Шубаков В.С.	A-03-01
	A-03-09C		A-03-08C
Субботи В.Г.	B-01-04	Шуваева Е.А.	A-03-09C
Супонев Н.П.	A-01-10C	Шуняев К.Ю.	A-02-02
Тагунов Е.Я.	D-03-06	Щербаков С.П.	B-01-04
Тагунов П.Е.	D-03-06	Щетинин И.В.	A-01-06
Таранов Д.В.	D-01-03	Ягодкин Ю.Д.	A-01-06
Тарасов Е.Н.	A-02-05		A-03-06
	A-02-08		A-03-05
	B-01-03	Яковлев Л.С.	D-02-03
Таскаев С.В.	D-01-03	Янушкевич К.И.	A-02-10C
Терентьев П.Б.	A-02-03		C-01-10C
Терешина И.С.	A-02-09C	Яськов Д.А.	A-01-09C
Тюкавин Р.И.	D-03-01		C-01-08
Ушакова О.А.	A-03-03		
	B-01-14C		

LIST OF THE PARTISIPANTS

Afanasieva I.A.	D-02-07		D-01-01
	D-02-08	Drozdov S.S.	D-01-01
Andreev K.A.	C-01-11C	Dubovoy V.A.	C-01-08
	C-01-12C	Dyachkov M.V.	A-02-01
Andreev S.V.	A-02-07	Dyogteva O.B.	A-01-10C
	A-02-08	Efremov A.A.	D-02-06
	B-01-03	Ermilov A.V.	B-01-08
Andreev V.A.	D-02-03	Firsenkov A.A.	C-01-08
Arinicheva O.A.	A-01-03		D-01-07
Baumbach J.	C-01-04	Fradkin S.	A-03-03
	C-01-04	Gadjuchko A.	C-01-01
	C-01-01		C-01-04
Beketov V.N.	D-01-03	Galyas A.I.	A-02-10C
Belova L.M.	A-01-05		C-01-10C
Bogush A.K.	A-02-10C	Gaviko V.S.	A-02-04
Bojkov P.V.	C-01-02	Gerasimjv M.V.	A-03-07
Borovoy V.V.	C-01-05	Gerasimov E.G.	A-02-03
Bratushev D.Yu.	A-02-02	Glebov A.V.	A-02-07
	A-02-03	Gobatenko N.I.	C-01-05
Buchelnikov V.D.	D-01-03	Golub'ev A.V.	A-03-07
Burchanov G.S.	A-02-09C	Golubkov A.G.	B-01-05
Buslov O.Yu.	D-01-07		B-01-06
Buzenkov A.V.	A-02-09C	Gorbatenko N.I.	C-01-06
Bychkov I.V.	D-01-03		C-01-07
Charnaya E.V.	A-01-09C		C-01-01
Cherednichenko I.V.	A-03-08C		C-01-09C
	B-01-14C	Gorbunov D.I.	A-02-04
Chernov P.V.	B-01-01	Gracheva I.M.	B-01-14C
Danshin V.V.	D-02-01	Grechikhin V.V.	C-01-01
Davidova E.A.	A-01-11C		C-01-09C
	A-02-09C	Gusev M.Yu.	C-01-08
Demidenko O.F.	A-02-10C	Hukov D.G.	A-03-09C
	C-01-10C	Ignatenko N.M.	A-01-07
Dergachev P.A.	D-01-04	Illarionov J.A.	D-02-02
Dinislamova E.H.	B-01-14C	Ivanova N.V.	B-01-04
Djatlova T.V.	A-03-06	Ivanov S.I.	B-01-02
Dormidontov A.G.	A-02-06	Ivanovskaya M.	B-01-12C

XVII-th International conference on permanent magnets

	B-01-13C		A-01-03
Kallenbach E.	C-01-04		A-01-08
	C-01-04	Logunov M.V.	A-03-07
Kallenbah E.	C-01-01	Lomonosov V.	B-01-12C
Kanevsky E.I.	D-01-02		B-01-13C
	D-01-03	Lukin A.A.	A-02-06
Ketov S.V.	A-03-05	Lyakhova M.B.	A-01-02
Kireev V.	C-01-01	Lyubina J.	A-01-06
	C-01-04	Makovetskii G.I.	A-02-10C
Klevets N.I.	D-02-04		C-01-10C
	D-02-05	Malinina R.I.	A-03-03
	D-02-06		A-03-08C
	D-02-07		B-01-14C
	D-02-08	Malyshev P.M.	A-03-07
Kostin A.V.	B-01-08	Malyutina E.S.	A-03-09C
Kotsikau D.	B-01-12C	Markin P.E.	A-02-07
	B-01-13C	Maslennikov S.O.	A-03-09C
Kotunov V.V.	B-01-01	Matrenin A.V.	B-01-14C
	B-01-04	Melnikov I.A.	B-01-06
Kozin A.E.	C-01-08	Melnikov S.A.	B-01-02
Kraposhin V.S.	B-01-04	Melnikov V.G.	A-01-07
Kudrevatykh N.V.	A-02-02	Menushenkov V.P.	A-01-05
	A-02-03		A-03-02
	A-02-07		A-03-05
Kulayev Y.V.	D-01-06	Michel D.	A01-09C
Kumzerov Yu.A.	A-01-09C		A-01-09C
Kurbatov P.A.	D-01-04	Mihajlin S.V.	A-03-04
	D-01-05	Mikhailova T.L.	A-02-02
	D-01-06	Milyaev O.A.	A-02-08
Kuznecova U.V.	A-01-10C		B-01-03
Kuznetsova L.V.	D-02-07	Moskalev V.N.	D-01-03
Kuznetzova E.A.	D-01-06	Mukho S.B.	A-02-06
Kyong N.M.	C-01-09C	Mukhtar A.A.	B-01-11
	C-01-01	Narakidze N.D.	C-01-06
Labaznikov K.V.	B-01-05		C-01-07
Lankin M.V.	C-01-03	Nesterina A.D.	D-02-03
	C-01-05	Nesterin V.A.	D-02-03
Lileev A.S.	A-01-04	Neustroev N.S.	C-01-08
	A-03-09C	Neznakhin D.S.	A-02-07

XVII Международная конференция по постоянным магнитам

Nikitin V.V.	D-01-08	Salyov P.S.	A-01-10C
Ogurtsov A.V.	D-01-03	Semenova E.M.	A-01-02
Opalev Yu.G.	D-01-08	Sergeev K.L.	D-01-09C
Ospennikova O.G.	B-01-02	Sergeev S.V.	A-02-06
Panichkina I.V.	A-01-04	Sergeev V.A.	D-02-02
Pankov V.	B-01-12C	Sergeev K.L.	A-02-06
	B-01-13C	Shambalyov V.	B-01-13C
Panova Ya.V.	A-02-05	Shandrovskaya E.S.	A-03-06
	A-02-08	Sharin M.K.	B-01-03
	B-01-03		A-02-08
Parshin A.P.	B-01-02		A-02-05
Pastushenkov A.G.	C-01-02	Shatalov V.V..	B-01-02
Pastushenkov Yu.G.	A-01-01	Shaykhutdinov D.V.	C-01-05
	A-01-02		A-01-05
Pavlov G.D.	D-01-07	Shetinin I.V.	A-01-06
Perevoschikov P.S.	A-02-06	Shirokov K.I.	D-01-05
Perminov A.S.	A-03-08C	Shirokov K.M.	C-01-03
	A-03-09C	Shubakov V.S.	A-03-01
	C-01-11C		A-03-C
	C-01-12C	Shunyaev K.Yu.	A-02-02
Pikunov M.V.	B-01-07	Shuvaeva E.A.	A-03-09C
Pisarevskij J.V.	D-02-02	Sidorov E.V.	B-01-07
Piskorskii V.P.	A-01-11C		B-01-08
	A-02-09C	Simonov V.V.	A-01-01
	B-01-02	Skokov K.P.	A-01-01
Polegotchenkov B.V.	B-01-06	Skovorodnikov S.V.	D-01-07
Polev I.	A-03-03	Smirnov A.S.	C-01-08
Popov A.G.	A-02-01	Smirnova V.V.	B-01-05
	A-02-02	Smirnov R.F.	A-01-01
	A-02-03	Smirnov V.V.	B-01-05
	A-02-04	Solomeina Yu.V.	B-01-09
Pushin V.G.	A-02-07		B-01-10
Putilov Yu.G.	B-01-01	Soloshenko K.O..	B-01-06
Puzanova T.Z.	A-02-01	Starikova A.S.	C-01-11C
Rabinovich Y.D.	D-01-09C		C-01-12C
Repina M.V.	A-02-09C		A-01-03
	A-01-11C		A-01-08
Rodin A.O.	A-03-02	Stashkova L.A.	A-02-04
Rodionov A.A.	A-01-07	Stepanov A.E.	A-01-04

XVII-th International conference on permanent magnets

Stolyarov V.L.	A-01-06	Vlasuga A.V.	A-02-01
	A-03-09C	Volegov A.S.	A-02-07
Subbotin V.G.	B-01-04	Volokitina Ye.V.	D-01-08
Suponev N.P.	A-01-10C	Vvedenskiy V.Yu.	A-03-09C
Sviridova T.A.	A-01-05	Vyatkin V.P.	A-02-01
	A-03-02		A-02-02
Taranov D.V.	D-01-03		A-02-03
Tarasov E.N.	A-02-05	Yagodkin Yu.D.	A-01-06
	A-02-08		A-03-05
	B-01-03		A-03-06
Taskaev S.V.	D-01-03	Yakovlev L.S.	D-02-03
Terent'ev P.B.	A-02-03	Yanushkevich K.I.	A-02-10C
Tereschina I.S.	A-02-09C		C-01-10C
Tscherbakov S.P.	B-01-04	Yaskov D.A.	C-01-08
Ushakova O.A.	A-03-03		A-01-09C
	B-01-14C	Zeziulina P.A.	A-01-02
Valeev R.A.	B-01-02	Zhukov D.G.	A-03-01
	A-01-11C		A-03-08C
	A-02-09C		B-01-14C
Vasilenko D.Yu.	A-02-01	Zinin A.V.	A-02-05
	A-02-02		A-02-08
	A-02-03		B-01-03
Vintaikin B.E.	B-01-04		
Vlasov A.I.	D-01-08		

Издательский Дом МИСиС
119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4
Телефон: +7 (495) 647-23-09
www.misis.ru

Подписано в печать 09.09.2009
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 13.5. Тираж 350 экз.