



Успешные практики УрФУ

Трансфер результатов фундаментальных исследований в технологию изготовления функциональных магнитных материалов и изделий из них

 Уральский
федеральный
университет

приоритет2030⁺
лидерами становятся

Трансфер результатов фундаментальных исследований в технологию изготовления функциональных магнитных материалов и изделий из них

Магнитотвердые материалы и изготовленные из них постоянные магниты, входящие в состав ротора электродвигателя или электрогенератора, практически исчерпали возможности улучшения магнитных свойств, поскольку промышленно выпускаемые магниты на 80–90% достигли теоретического предела максимального энергетического произведения. В настоящее время свойства магнитов – компромисс между величиной остаточной намагниченности и коэрцитивной силы. Высокая коэрцитивная сила необходима ввиду того, что элементы электрических машин в силу специфики эксплуатируются в переменных магнитных полях, в результате чего нагреваются под действием вихревых токов. Технология аддитивного производства постоянных магнитов и магнитных систем создает принципиально новые подходы к их разработке за счет возможности локального варьирования свойств материалов и придания им сложных форм. В первую очередь это относится к варьiruемой ориентации осей легкого намагничивания. Эта возможность позволит печатать, например, роторы электродвигателей сложной формы и с плавно изменяющейся ориентацией локальной оси текстуры. Такие роторы будут иметь более высокую эффективность вследствие отсутствия резких изменений магнитной индукции вблизи поверхности и кратного снижения вихревых токов в статоре в процессе эксплуатации.

Получаемые свойства постоянных магнитов в настоящее время по разрабатываемой технологии в 1,5–2 раза превосходят аналоги. Внедрение разрабатываемой технологии позволит принципиально изменить подходы к конструированию магнитных систем за счет того, что исчезнет необходимость использовать магнит «с полки», а будет возможность заказать и изготовить даже единичные магниты нужных формы и размеров для тестирования. Возможность изготовления магнитов произвольных форм со сложным распределением магнитного потока позволит перейти на новый уровень производства миниатюрных и сложных исполнительных механизмов роботов, актуаторов, электродвигателей и др.

Какую задачу решаем

Магнитные гистерезисные свойства (остаточная намагниченность и максимальное энергетическое произведение) редкоземельных магнитотвердых материалов и изготовленных из них постоянных магнитов практически достигли своего теоретического предела, что ограничивает дальнейшее развитие технических устройств, в составе которых используются постоянные магниты. Выходом из сложившейся ситуации является применение аддитивных технологий, которые, с одной стороны, позволяют получать постоянные магниты сложной формы, а с другой – позволяют управлять магнитными свойствами. Этот набор возможностей потенциально обеспечивает изготовление функциональных частей устройств за одну операцию с одинаковыми функциональными характеристиками, превышающими таковые при традиционном подходе.

Основная проблема массового внедрения 3D-печати в производство обусловлена сильной зависимостью функциональных свойств от микроструктурного состояния материала. Наиболее перспективным типом процесса в настоящее время представляется селективное лазерное спекание, поскольку оно не требует обязательного наличия связующего или требует его в значительно меньших количествах, чем другие типы процесса.

Существенной проблемой селективного лазерного спекания является изотропность получаемых образцов, что приводит к 2–4-кратному ухудшению магнитных свойств изготавливаемых магнитов и систем на их основе. Решение указанной проблемы позволит внедрить в промышленном производстве постоянных магнитов и магнитных систем аддитивные технологии, расширив номенклатуру выпускаемых изделий и улучшив их технико-экономические характеристики.

Описание



Разработка технологии ведется на основе оборудования, имеющегося в ИЕИМ УрФУ и ИФМ УрО РАН с использованием сплавов, изготовленных на НПП «Неомаг». При разработке технологии приходится решать как фундаментальные, так и прикладные проблемы, возникающие в процессе. К первым относится прогнозирование распределения тепла в процессе воздействия лазерного пучка на сплав и после окончания такого воздействия; формирование микроструктуры при неравновесных нагревах

и охлаждения исходного сырья; влияние сформировавшейся микроструктуры на магнитные гистерезисные свойства. Ко вторым относятся сложности работы с порошком, частицы которого имеют несферическую форму, а также создание магнитных полей различных конфигураций в камере построения аддитивной машины с учетом потенциального влияния этих полей на элементы принтера, управляемые электродвигателями.

В ИЕИМ УрФУ совместно с ИФМ УрО РАН и НПП «Неомаг» отрабатывается полный технологический цикл производства постоянных магнитов, однако он остается лабораторным вариантом технологии. В тесном контакте с партнерами можно дойти до УГТ 6. Дальнейшее доведение технологии до промышленной возможно только на предприятии – производителе постоянных магнитов и магнитных систем.

Необходимые ресурсы

В развитии описываемой технологии заинтересована ГК «Росатом» как крупнейший производитель оборудования для аддитивного производства в РФ и потенциальный изготовитель постоянных магнитов и электродвигателей на их основе. К настоящему моменту на фундаментальные исследования в этой области от РФ, на создание лабораторной технологии от ГК «Росатом» и через УМНОЦ выделено 50 млн руб.

Для внедрения разрабатываемой технологии в производство необходимо создание высокотехнологичного производства постоянных магнитов с бескислородной линией. В настоящее время такое производство в РФ существует только на НПП «Неомаг» с годовым выпуском постоянных магнитов 2 тонны в год. В 2027 году планируется запуск завода ГК «Росатом» по производству 1000 т постоянных магнитов в год с капиталовложениями на уровне 3,6 млрд руб. Это фактически единственное место для внедрения. Оценка стоимости разработки технологии до ее внедрения составляет 150–200 млн руб. Для окончательного внедрения необходимо встраивание аддитивной машины в производственную линию.

Ограничения и риски



Основным условием успешного внедрения разрабатываемой технологии является высокая технологичность производства, заключающаяся как минимум в отсутствии контакта исходных материалов с кислородом воздуха на всех этапах технологического передела и струйном помоле порошков.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские риски сводятся к проблемам получения магнитов со свойствами, не уступающими или не сильно уступающими производимым по традиционной технологии.

Коммерческие риски связаны с низкой востребованностью технологии на этапе внедрения в связи с тем, что конструкторы привыкли решать возникающие проблемы и сложности увеличением массы магнитов или габаритов всей магнитной системы. Возможность получения магнитов со сложным распределением магнитного потока внутри принципиально меняет подходы к разработке магнитных систем, и в частности роторов вентильных электродвигателей.

Эффекты

Детали технологии производства постоянных магнитов меняются ежегодно. За счет постоянной оптимизации технологических параметров, химических составов исходных сплавов удается получать широкий спектр постоянных магнитов по свойствам и стоимости, но в любом случае это магниты простых форм и с двумя полюсами. Разрабатываемая технология снимает существующие ограничения на форму и сложность распределения потока, проявляющееся внешне в количестве магнитных полюсов. Также при разработке магнитных систем возможен отказ от магнитомягкого магнитопровода, тем самым произойдет снижение массы и габаритов используемой магнитной системы. При этом в силу возможности локального управления магнитными и физическими свойствами изготавливаемые таким образом магниты имеют преимущество перед выпускаемыми по традиционной технологии. К таким преимуществам относятся повышенное электросопротивление, повышенная теплопроводность и ряд других, что позволяет снизить содержание дорогих тяжелых редкоземельных металлов, улучшить температурный режим работы остальных частей устройства. Возможность подстройки свойств магнитов или магнитных систем под конкретные применения нивелирует их повышенную цену в результате улучшенных характеристик готового устройства.

Основные этапы внедрения

Разработка технологии ведется с учетом встраивания участка аддитивного производства параллельно одному или нескольким этапам существующего производства. Этот подход позволяет минимизировать все имеющиеся риски, связанные с организацией производства.

Планируемые этапы разработки технологии:

2024 год – тестирование измененных подходов к созданию текстуры в образцах, получение опытных образцов магнитов с максимальным энергетическим произведением 30–35 МГсЭ; проверка концепции получения роторов электродвигателей с высокими магнитными свойствами и сложной магнитной текстурой на примере цилиндра Хальбаха с двумя и четырьмя полюсами;

2025 год – разработка конструкторской документации на аддитивную установку для печати постоянных магнитов;

2026 год – изготовление и опробование аддитивной установки для печати постоянных магнитов; оптимизация технологических подходов к производству магнитов; получение аддитивно изготовленных магнитов с максимальным энергетическим произведением более 40 МГсЭ;

2027 год – опробование технологии в реальных условиях, передача технологии предприятию-изготовителю при условии его готовности к внедрению технологии.

Организационные изменения не требуются. Технология может быть использована в запускаемом высокотехнологичном производстве постоянных магнитов параллельно части технологических этапов.

Рекомендации

1. Наличие полного цикла производства современных постоянных магнитов.
2. Готовность к частичному перестроению производства.

Контакт автора



Волегов Алексей Сергеевич,

доцент кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов
Института естественных наук и математики,
к.ф.-м.н., доц.,
alexey.volegov@urfu.ru