

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ИЗ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ

В современной электротехнике специального и общепромышленного назначения широко используются постоянные магниты, основу которых составляют редкоземельные материалы, придающие магнитам высокие энергетические свойства. Производство таких магнитов осуществляется методом порошковой металлургии по следующей типовой схеме: производство сплава → многоступенчатое дробление сплава и просеивание → получение порошка → смешивание → прессование в магнитном поле → спекание и термическая обработка → механическая обработка → намагничивание.

Особенностью изготовления крупномодульных магнитных систем и ее проблемой является получение в сборке конструкции однородного магнитного поля с индукцией до 1,3 Тл и коэрцитивной силой 1100 - 1300 кА/м.

Достигнуть такого энергетического уровня можно, создав из элементарных магнитов, расположенных в определенном порядке, такую конструкцию, которая была бы технологична и обеспечивала бы заданные параметры. Однако изготовление подобных конструкций связано с определенными трудностями, такими как:

- получение методом прессования заготовок размером более 40x40x15мм, вследствие ограниченной возможности прессового оборудования;
- сборка, склейка в модуль элементарных магнитов уже в намагниченном состоянии;
- обеспечение позиционной точности при склейке элементарных магнитов для последующей окончательной склейки их в крупные модули;
- намагничивание габаритных, с размером более 130 мм, модулей в виде треугольных призм с заданным углом намагничивания;
- колебание скорости резания при эрозионной обработке, вплоть до полной остановки режущей проволоочки, блоков магнитов вследствие наличия диэлектрических клеевых стыков и пропадания электрического контакта;

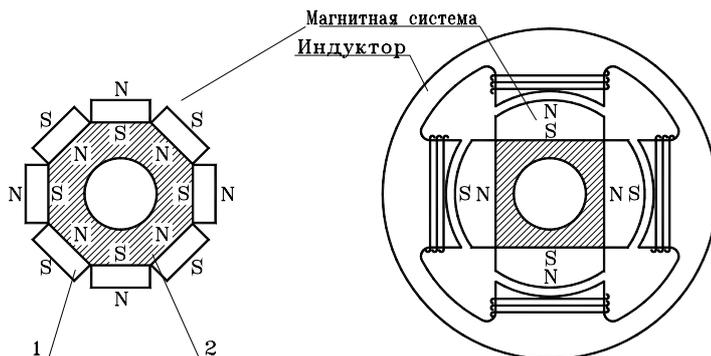
- удержание магнита в соленоиде при намагничивании для обеспечения строго заданного направления намагничивания.

Полученные таким образом магнитные блоки обладают большой энергией, порядка 250 кДж/м^3 , имеют высокую остаточную индукцию $B_r = 1,1-1,2 \text{ Тл}$ и коэрцитивную силу $H_c = 1000 \text{ кА/м}$.

Собранная из таких магнитов магнитная система обладает мощным постоянным полем и большим запасом энергии. Если в систему входит магнитопровод, то часть энергии концентрируется в теле магнитопровода, а остальная рассеивается в пространстве.

Сборка таких систем осуществляется традиционным способом закрепления магнитов на магнитопроводе и шунтирования магнитного поля на тот же магнитопровод.

Возможен вариант намагничивания магнитов в системе, если система не многополюсная и оборудование позволяет разместить изделие между полюсами (рис. 1).



**Рис. 1. Намагничивание четырехполюсной магнитной системы:
1 – элементарные магниты; 2 – магнитопровод**

Если магнитная система состоит из одних магнитов без магнитопровода, на котором закрепляются магниты, то сборка такой системы имеет следующие особенности:

1. Сборка и склейка систем должна производиться с использованием специальной оснастки, имитирующей каркас магнитопровода для обеспечения заданной формы магнитной системы и габаритных геометрических размеров.

2. Намагнитить систему в сборе невозможно из-за сложности получения определенно заданного угла намагничивания, поэтому

намагничивание элементов производится заранее также с использованием специальной оснастки.

3. Работа с магнитами большой массы (1,5 кг) усложняет сборку из-за возникновения больших магнитных усилий, что непременно сказывается на технике безопасности и необходимости использования защитных устройств (шунтов, захватов, экранов и т.п.)

Ярким примером бескаркасной магнитной системы является магнитный модуль для космического телескопа «PAMELA».

Конфигурация модуля (рис.2), расположение в нем элементарных магнитов и направление их намагничивания обусловлены необходимостью получения внутри модуля однородного магнитного поля.

Основой модуля являются треугольные призмы, склеенные в свою очередь из элементарных магнитов призматической формы.

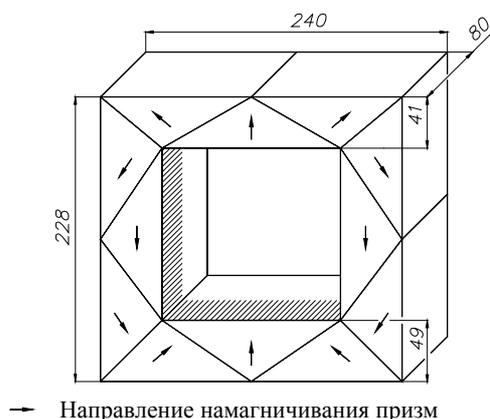


Рис. 2. Магнитный модуль для космического телескопа «PAMELA»

Такая конструкция обусловлена проблемой прессования треугольных призм большого объема, так как имеющееся на производстве прессовое оборудование не позволяет получать элементарный магнит заданной плотности из композиции Nd-Fe-B - размером более 40x40x15мм.

Поэтому, для получения треугольных призм заданной формы и сборки их в единый моноблок, была выбрана следующая технологическая схема:

- изготовление элементарных магнитов прямоугольной формы, кратной размерам 40x40x15. Всего в модуле около 200 таких магнитов;

- склейка магнитов в блоки прямоугольной формы. В блок входит до 40 магнитов;
- промежуточная шлифовка блоков для получения заданной геометрии и точности;
- резка блоков на треугольные призмы в заданном направлении эрозионным способом;
- намагничивание треугольных призм в заданном направлении;
- сборка и склейка модуля из намагниченных призм в единую систему и получение готового изделия.

Каждый этап принятой технологической схемы поставил ряд технических задач, от решения которых зависел конечный результат.

Для решения этих задач и отработки конструктивно-технологического варианта изделия в производство был запущен опытный образец модуля.

Склеенные в блоки магниты были подвергнуты резке, в процессе которой была выбрана оптимальная скорость резания и выявлен фактор существенно влияющий на время обработки.

Таким фактором оказался диэлектрический клеевой стык и послойное совпадение стыков в блоке. Величина отдельных клеевых прослоек составляла более 0,2 мм и при толщине проволоки 0,3 мм, когда последняя наткалась на клей, процесс резания прекращался. Приходилось переставлять блок магнитов в другое положение и начинать резку с другого конца. В результате, на поверхности магнита оставались переходы размером 0,3-0,5 мм и их необходимо было прошлифовать.

После изготовления опытного образца, были скорректированы требования к точности изготовления элементарных магнитов и изменена схема их склейки в блоки. Установлено, что стыки между слоями в направлении намагничивания не должны совпадать и клеевой шов должен иметь минимальное значение. В результате исследований был определен окончательный вариант склейки блоков (рис.3) из призматических магнитов и разработана необходимая технологическая оснастка.

Проанализировав факторы, оказывающие влияние на процесс резки магнитов, в технологию была введена дополнительная послойная шлифовка блоков и выбраны режимы шлифования, обеспечивающие повышение точности геометрии и чистоты обработки поверхности магнитов до $Ra = 1,25 \dots 0,8$ мкм. При этом использовались эльборовые круги со следующими характеристиками абразивного зерна: ЛКВ 30 160/125 (125/100) С10 СМ1(СМ2)100%.

Для резки было разработано специальное приспособление, позволяющее установить блок магнитов в исходное положение без

дополнительной выверки и обеспечить при резке электрическую связь каждого элементарного магнита с массой станка.

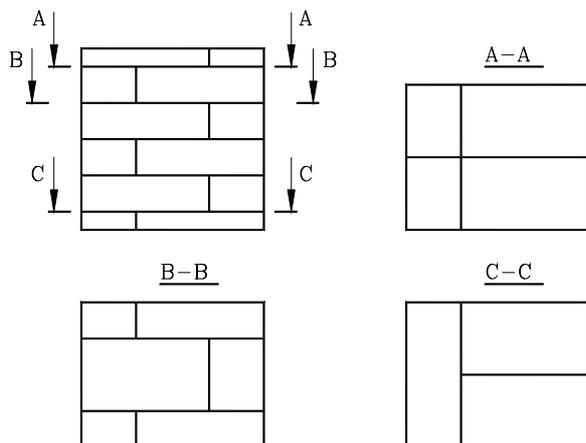


Рис. 3. Вариант склейки блоков

Данные мероприятия позволили повысить качество изготовления магнитных блоков, почти в три раза сократить время резки и исключить дополнительную шлифовку разрезаемых поверхностей.

Намагничивание треугольных призм осложнялось тем, что каждая из них имела свой, определенный угол намагничивания асимметрично заданный к базовым поверхностям магнитов (рис.4).

Габариты призм не позволяли намагничивать их сразу по всей длине, так как индуктор намагничивающей установки УНН-36 гарантировал свойства поля намагниченности только в зоне 30 мм.

Проблема ориентации призм в индукторе для получения заданного направления намагничивания была решена при помощи специально разработанной оснастки, схема которой представлена на рис.5.

Оснастка, фиксирующая призму 2 в индукторе 6, состоит из 2-х параллельных пластин 1, имеющих ложементы и повторяющих формы призм и соединенных между собой шпильками 3. Крепление призм осуществляется специальным зажимным устройством 4, не позволяющим первой двигаться в процессе намагничивания.

Пластины 2 устройства изготовлены из диэлектрика (стеклотекстолита) дабы избежать эффекта размагничивания от наведенного ЭДС в токопроводящих элементах конструкции оснастки при быстро изменяющемся магнитном поле индуктора. Остальные эле-

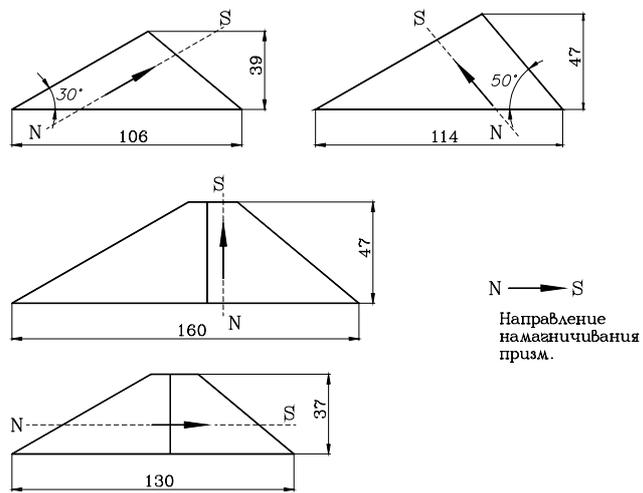


Рис. 4. Намагничивание треугольных призм

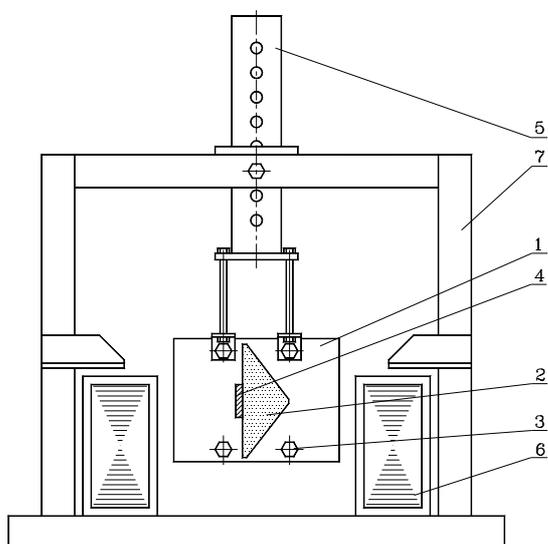


Рис. 5. Оснастка

менты конструкции выполнены таким образом, чтобы не образовывались замкнутые токовые контуры.

Проблемы полного намагничивания призм при условии гарантированной зоны намагничивания в 30 мм была решена следующим образом.

Процесс был разбит на 3 цикла, каждый из которых намагничивал свою определенную зону магнита. Опуская магнит в индукторе вниз с шагом 25 мм, дабы иметь коэффициент запаса по зоне намагничивания, было произведено полное намагничивание призм.

Как уже отмечалось, работа с намагниченными магнитами большой массы и тем более из редкоземельных сплавов, обладающих самой большой энергией ($B_r = 1,1 \text{ Тл}$, $H_c = 850 \text{ кА/м}$) сопряжена с определенными трудностями.

Во-первых, сила, возникающая при склеивании призм с одноименными полюсами, препятствует точной установке их в систему. Требуется дополнительное усилие, чтобы свести магниты и получить минимальный клеевой зазор, а также выдержать заданные линейные размеры.

Во-вторых, возникающие силы притяжения между разноименными магнитами настолько велики, что при неосторожном обращении с ними могут привести к травме рук человека, производящего сборку магнитной системы.

Чтобы избежать этого и обеспечить точность требуемой геометрии модуля, был разработан специальный стапель, который выполнен из немагнитных материалов, схема которого представлена на рис.6.

Стапель состоит из основания 1, на котором жестко закреплены съемные упоры 2, обеспечивающие габаритные размеры модуля. По периметру основания установлены съемные домкраты 3 для перемещения и фиксации положения намагниченных призм 5. Пространство между упорами заполнено имитаторами треугольных призм 4, выполненных из немагнитного материала.

Сборка магнитной системы осуществляется путем последовательной замены имитаторов на магниты таким образом, чтобы каждый следующий магнит устанавливался в канал, образованный между имитатором и предыдущим магнитом. При такой схеме сборки каждая намагниченная призма занимает свое заданное положение, не перекашивается при установке, обеспечивая тем самым оптимальную плотность сборки и требуемые геометрические размеры модуля. Последовательно меняя имитаторы на призм с предварительно нанесенным на склеиваемые поверхности клеем, производится сборка магнитной системы. Удержание магнитов в приспособлении обеспечивается съемными домкратами 3 и болта-

ми 6, которые прижимают призмы до полной полимеризации клея. В нашем случае использовался клей К-300. После полной полимеризации клея оснастка разбирается, и модуль готов к проведению контроля заданных магнитных свойств.

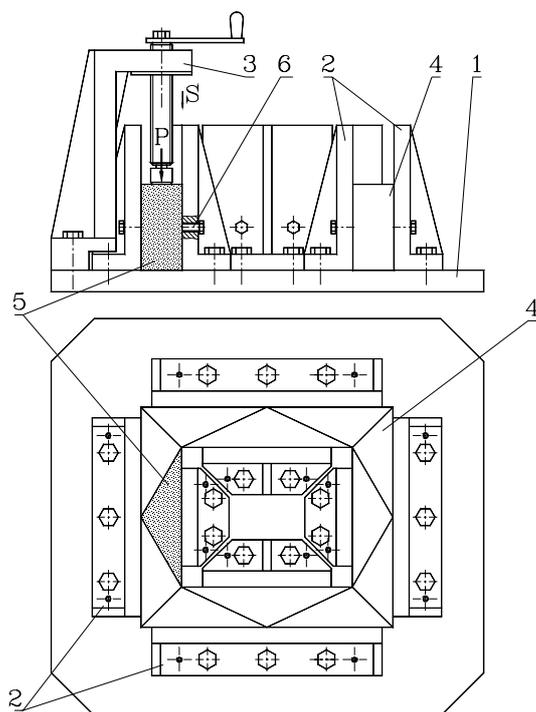


Рис. 6. Станель

Выводы

В результате проведенных работ по изготовлению технологического образца бескаркасного модуля с постоянными магнитами из редкоземельных элементов можно сделать следующие выводы:

- отработана технология изготовления элементарных магнитов требуемой геометрии и чистоты поверхности для последующей их склейки в блок;
- определена технология склейки элементарных магнитов в блоки с использованием анаэробного клея АП-107;

- выбраны оптимальные режимы резки склеенных блоков на призмы и исключена дополнительная шлифовка их после резки;
- определена конструкция оснастки для намагничивания треугольных призм и технология намагничивания крупногабаритных заготовок;
- отработана конструкция специальной оснастки и технология сборки и склейки бескаркасной магнитной системы.

Накопленный в результате проделанной работы опыт позволяет говорить о возможности изготовления штатных образцов высокоэнергетических магнитных систем бескаркасной конструкции.