

На рис. 2 представлены зависимости тока и напряжения, а также мощности и энергии от времени зарегистрированные данные в процесс одного эксперимента (сила тока 200 А, время дуговой стадии 60 с).

По зарегистрированным данным определено, что значение силы тока и напряжения стабилизируются до следующих величин: I_{cp} до 134,10 А, U_{cp} до 32,70 В. На протяжении дуговой стадии среднее значение электрической мощности составляет 4,2501 кВт, а количество электрической энергии подведенной в зону реакции 0,0729 кВт·ч.

Таким образом, проведенное исследование позволило оценить изменение массы графитовых компонентов в процессе электродугового синтеза материалов. Определено что средний расход графитового тигля за один эксперимент составляет 0,5813 г, однако данное значение увеличивается при большем количестве экспериментов. Также определены энергетические параметры, так, например, за один эксперимент количество подведенной энергии в зону реакции составляет 262,71 кДж. Также определено что один тигель может использоваться в течение 29 экспериментов, при установлении максимальных параметров электродугового реактора (сила тока 200 А, время дуговой стадии 60 с).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2022-0018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандлер Р.А., Александровский С.В. Металлотермическое получение некоторых тугоплавких металлов и их сплавов восстановлением хлоридов из расплавов // Записки Горного института. – 1975. – № 3 55. – С. 35.
2. Труханов С.В. Технологии получения монокристаллов тугоплавких металлов методом зонной плавки с применением электронно-лучевого нагрева // ИННОВАЦИИ и ИНВЕСТИЦИИ. – 2018. – № 12. – С. 200–203.
3. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia / A.Ya. Pak, I.I. Shanenkov, G.Y. Mamontov, A.I. Kokorina // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – V. 93. – P. 105343.
4. Plasma reactor for material synthesis and waste recycling, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia / Zh. Bolatova, A.YA. Pak, A.A. Gumovskaya, P.V. Povalyaev, R.S. Martynov, K.B. Larionov // Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects. – 2022. – C1. – P. 801–805.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Д.О. Речкин

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А18

Научный руководитель: Д.Ю. Ляпунов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Введение

Эффективность электрических приводов играет ключевую роль в современном мире, где энергосбережение и экологическая устойчивость становятся приоритетными задачами. Электрические приводы используются практически во всех областях промышленности, транспорта и бытовых устройств, и их доля в общем энергопотреблении продолжает расти.

Однако традиционные материалы, используемые при производстве электрических приводов, имеют ряд ограничений, таких как высокие потери энергии, низкая долговечность и недостаточная устойчивость к экстремальным условиям.

Инновационные материалы, такие как нанокристаллические сплавы, высокотемпературные сверхпроводники и композитные покрытия, открывают новые перспективы для повышения КПД, снижения энергопотерь и увеличения срока службы электрических приводов.

Цель: исследовать возможности использования новых материалов для повышения эффективности электрических приводов, определить их преимущества и перспективы внедрения в различных отраслях.

Основная часть

Материалы для магнитопроводов

К традиционным материалам для магнитопроводов относят кремнистую сталь и ферриты.

1. Кремнистая сталь (с содержанием кремния до 3–4 %) – это один из наиболее широко используемых материалов для магнитопроводов.

Преимущества: высокая магнитная проницаемость, снижение потерь на вихревые токи благодаря легированию кремнием, относительная простота производства и доступность.

Недостатки: удельные потери на гистерезис остаются значительными, ограниченная эффективность при высоких частотах.

2. Ферриты – это керамические магнитные материалы, содержащие оксиды железа с добавлением других элементов (например, марганца или цинка).

Преимущества: высокое электрическое сопротивление, что минимизирует потери на вихревые токи, эффективность в диапазоне высоких частот, устойчивость к коррозии.

Недостатки: низкая насыщенная магнитная индукция, хрупкость и сложность в обработке.

Помимо традиционных материалов существуют и перспективные материалы. К ним относятся Нанокристаллические и Аморфные сплавы.

Нанокристаллические материалы состоят из ультрамелких зерен (размером 10–20 нм), получаемых за счёт контролируемой кристаллизации аморфных сплавов.

Преимущества: исключительно высокая магнитная проницаемость (до 10 раз выше, чем у традиционных материалов), низкие удельные потери, высокая термическая стабильность.

Недостатки: относительно высокая стоимость производства, требуют специальных условий обработки.

Аморфные сплавы представляют собой материалы с неупорядоченной атомной структурой, получаемые методом быстрой закалки.

Преимущества: очень низкие удельные потери, особенно при работе на повышенных частотах, высокая прочность и устойчивость к коррозии, хорошие экологические показатели благодаря меньшему потреблению энергии в процессе эксплуатации.

Недостатки: ограниченная механическая обрабатываемость, сложности в массовом производстве крупных изделий.

Материалы для обмоток

Медь – это традиционный материал для обмоток электрических машин благодаря своим выдающимся электрическим и механическим свойствам. Алюминий также широко используется в электротехнической отрасли благодаря его лёгкости и доступности.

Высокотемпературные сверхпроводники (HTS):

Высокотемпературные сверхпроводники – это материалы, которые при температурах, достигаемых с использованием жидкого азота (около $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), проявляют нулевое сопротивление.

- Потенциал:
 - полное отсутствие потерь на омическое сопротивление, что значительно увеличивает эффективность;
 - уменьшение размеров и массы обмоток за счёт более высокой плотности тока;

- возможность работы при относительно «высоких» криогенных температурах (в отличие от классических сверхпроводников).
- Ограничения:
 - высокая стоимость материалов и системы охлаждения;
 - необходимость поддержания постоянного низкотемпературного режима;
 - ограниченная механическая прочность и устойчивость к внешним воздействиям.

Полимерные изоляционные материалы

Изоляционные материалы играют критическую роль в обеспечении надёжной работы обмоток, предотвращая короткие замыкания и увеличивая долговечность устройств:

- *термостойкость*: полимеры, такие как полиимиды, фторопласты и полиэфирсы, способны выдерживать высокие температуры (до 200–300 °С), обеспечивая стабильность работы при перегревах.
- *долговечность*: современные полимеры имеют высокую стойкость к старению, вибрациям и воздействию агрессивных сред, что продлевает срок службы оборудования.
- *недостатки*: чувствительность к экстремальным температурам и ультрафиолетовому излучению (для некоторых типов полимеров).

Высокая стоимость некоторых специализированных изоляционных материалов.

Современные материалы для подшипников и корпусных элементов

1. Использование композитов и керамики для подшипников.

Современные подшипники должны обеспечивать низкое трение, высокую износостойкость и долговечность, особенно в условиях высокой нагрузки и экстремальных температур.

1.1. Композиты.

Композитные материалы создаются путём сочетания двух или более компонентов, чтобы объединить их преимущества. В подшипниках часто используются углеродные и полимерные композиты.

Преимущества: низкий коэффициент трения, уменьшающий износ, устойчивость к коррозии и химическим воздействиям, возможность работы без смазки (самосмазывающиеся материалы).

Примеры применения: полимерные подшипники в бытовой технике и углеродные композиты в авиационной и автомобильной промышленности.

1.2. Керамические материалы.

Керамика, такая как нитрид кремния и оксид алюминия, используется для создания высокопрочных подшипников.

Преимущества: исключительная твёрдость и устойчивость к износу, высокая термостойкость (выдерживает температуры выше 1000 °С), устойчивость к химическим воздействиям, что делает их идеальными для работы в агрессивных средах.

Недостатки: хрупкость, требующая осторожного обращения. Высокая стоимость производства.

Примеры применения: Турбины, высокоскоростные электрические двигатели, медицинские приборы.

2. Использование композитов и керамики для корпусных элементов.

2.1. Композиты.

Композитные материалы для корпусов, например, на основе углеволокна, применяются для снижения веса и увеличения прочности.

Преимущества: высокая прочность при малом весе, устойчивость к коррозии и механическим повреждениям, отличные вибропоглощающие свойства.

Примеры применения: корпуса электрических машин в авиации и автомобилестроении, электронные приборы и оборудование, требующие лёгких и прочных корпусов.

2.2. Керамические материалы.

Керамика для корпусов применяется там, где важны теплоизоляция, стойкость к износу и химическая инертность.

3. Использование лёгких сплавов для подшипников и корпусных элементов таких как алюминий и титан.

Нанотехнологии и инновации в материалах

Нанотехнологии позволяют создавать материалы с уникальными свойствами, которые значительно превосходят традиционные аналоги. Эти инновационные материалы находят широкое применение в электротехнической промышленности, повышая производительность, эффективность и долговечность электрических приводов.

Наноматериалы для улучшения проводимости и теплопроводности

Наноматериалы такие, как углеродные нанотрубки (CNT), графен и наночастицы металлов, обладают высокой электрической проводимостью и отличной теплопроводностью.

Покрyтия с низким коэффициентом трения для повышения износостойкости

Износостойкость и снижение трения – ключевые факторы для увеличения срока службы подвижных частей электрических приводов. Нанопокрyтия играют важную роль в этом процессе.

Заключение

Современные исследования в области материаловедения приводят к созданию новых материалов, которые существенно повышают эффективность электрических приводов. Преимущества включают: повышение энергоэффективности (снижение потерь энергии и улучшенная проводимость), увеличение срока службы оборудования (износостойкость и устойчивость к внешним воздействиям), снижение веса и габаритов, снижение эксплуатационных затрат.

При разработке и внедрении новых материалов для электрических приводов важно учитывать технические (КПД, термостойкость, прочность и вес) и экономические (себестоимость, количество потребления энергии, экологичность и увеличение сроков службы) показатели:

1. Внедрение новых материалов окажет значительное влияние на развитие всей отрасли.
2. Повышение КПД и надежности приводных систем приведет к росту производительности на предприятиях, где используются эти системы.
3. Использование более эффективных и долговечных материалов позволит снизить затраты на производство, обслуживание и ремонт, что повысит общую конкурентоспособность производителей.
4. Применение экологически чистых материалов и снижение энергопотребления будет способствовать достижению более устойчивого развития отрасли и снижению воздействия на окружающую среду.
5. Инновационные материалы откроют новые возможности для создания новых типов электрических приводов для специализированных применений, таких как электромобили, системы возобновляемой энергетики и робототехника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.В. Исследование и применение нанокристаллических сплавов в электротехнической отрасли. – М.: Наука, 2015. – 240 с.
2. Петров В.М. Аморфные сплавы в электрических машинах: Свойства и области применения. – СПб.: Энергоатомиздат, 2018. – 312 с.
3. Захаров И.К. Современные материалы для магнитопроводов: Кремнистая сталь и ферриты. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 180 с.
4. Кузнецов О.Л. Высокотемпературные сверхпроводники в электротехнических системах. – М.: МЭИ, 2020. – 200 с.
5. Григорьев С.Н. Полимерные изоляционные материалы в электротехнике: Термостойкость и долговечность. – Новосибирск: СО РАН, 2017. – 150 с.

6. Смирнов А.И. Композитные материалы для подшипников и корпусных элементов электрических машин. – Казань: Казанский университет, 2021. – 180 с.
7. Михайлов Е.В. Нанотехнологии в материалах для электрических приводов: Применение и перспективы. – М.: Энергетика, 2022. – 220 с.
8. Ковалев П.Г. Технологии создания наноматериалов для улучшения проводимости и теплопроводности. – Томск: Томский политехнический университет, 2021. – 250 с.
9. Александров И.В. Современные подходы к использованию наноматериалов в электрических машинах и приводах. – СПб.: Научная книга, 2019. – 180 с.
10. Федорова Л.В. Материалы и технологии для повышения энергоэффективности электрических приводов. – М.: ИТИС, 2020. – 220 с.

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ЭЛЕКТОРИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ

Ю.В. Мурашко

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ33

Научный руководитель: А.П. Леонов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Электроизоляционные материалы и обмоточные провода довольно распространены в настоящее время. Одними из наиболее часто применяемых на производстве изделий являются изоляционные трубки марки Витур Т 0433-85, получаемые из термопластичного полиуретана методом экструзии. Предназначаются для изоляции контактов разъемов. Кроме того, также довольно востребованы обмоточные провода марки ПЭТ-155, предназначенные для изготовления обмоток электродвигателей, генераторов, катушек. В связи с широкой распространенностью данных материалов необходим контроль их качества с целью выявления непригодности для производства [1, 2].

Методы испытаний трубки марки Витур Т 0433-85 включают в себя несколько этапов. Сначала оценивается внешний вид изделия. Наружная и внутренняя поверхности трубки должны быть гладкими, без посторонних включений, не допускаются пузыри, трещины, надломы. Допускаются незначительная рябь и полосы, не выводящие толщину стенки за допустимые пределы. Затем измеряют внутренний диаметр трубки при помощи металлических стержней подходящих размеров, зависящих от диаметра изделия. Определяют толщину стенки при помощи штангенциркуля. Полученные в ходе измерений внутренний диаметр и толщина стенки не должны выходить за пределы, указанные в табл. 1 [1].

Для оценки электрической прочности трубки определяют пробивное напряжение и вычисляют электрическую прочность по следующей формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h}, \quad (1)$$

где $U_{\text{пр}}$ – значение пробивного напряжения, полученное в ходе испытания, h – толщина стенки изоляционной трубки.

Испытания обмоточных проводов марки ПЭТ-155 также начинаются с оценки внешнего вида. Эмалевая изоляция должна быть сплошной, поверхность провода гладкой, без пузырей и включений. Далее измеряются внешний диаметр провода и диаметр проволоки, который не должен выходить за установленные нормативным документом пределы [2].

Изоляция проводов с номинальным диаметром проволоки 0,250 мм и более должна выдерживать испытание на механическую прочность истиранием иглой диаметром 0,4 мм. Число возвратно-поступательных ходов иглы должно быть не менее 40. Число точечных повреждений в эмалевой изоляции провода с номинальным диаметром проволоки до 0,500 мм вклю-