

**Что дальше?**

Возможности получения соединений на установке ФТИ ограничены небольшими габаритами рабочей камеры. Вместе с тем, ряд предприятий имеет широкую номенклатуру крупногабаритных изделий, для изготовления которых перспективно использование ЭЛ сварки и упрочнения. Поступают запросы по разработке технологий ЭЛС и изготовлению изделий от зарубежных заказчиков.

Мы пришли к выводу, что для дальнейшего движения необходимо выполнить достаточно серьезные капитальные вложения по изготовлению крупногабаритного вакуумного оборудования. Нарботанный нами опыт сотрудничества в этой области с более чем 10-ю предприятиями, позволяет смотреть с оптимизмом в будущее развития ЭЛ технологий. Совместно с *ПО «БелАЗ»* и *ОАО «Белкард»* предполагается изготавливать с применением ЭЛС детали с размерами до 1 м и более. Это даст возможность существенно снизить материалоемкость и стоимость продукции.

Ввиду достаточно высокой стоимости установок для ЭЛС целесообразно создание специализированного производства, на котором квалифи-

цированный персонал разрабатывает технологические процессы и выполняет заказы промышленных предприятий. Такую функцию взял на себя ФТИ НАН Беларуси, выполняя поисковые исследования и разрабатывая новые технологии. В перспективе ФТИ может полностью обеспечить потребности многих предприятий Беларуси в услугах по ЭЛС.

*Литература*

1. Белый А.В., Макушок Е.М., Поболь И.Л. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии / Минск: Наука і тэхніка, 1990. – 79 с.
2. Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан И.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева / Минск: Наука і тэхніка, 1995. – 280 с.
3. Алехнович В.Н. Алифанов А.В., Гордиенко А.И., Поболь И.Л. Электронно-лучевая обработка материалов / Минск: Белорус. наука, 2006. – 319 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

*Волков Н.Н.*

*Витебский завод радиодеталей «Монолит»*

Разработка относится к наукоемким производствам, включает в себя значительный объем исследовательских, конструкторских и технологических работ, направленных на создание энергоэффективного пожаро- и экологически безопасного нагревательного элемента и устройств для нагрева воздуха с целью создания комфортной климатической среды в помещениях. В настоящее время полностью отработана технология производства терморезисторов, освоено производство нагревательных регистров, тепловых панелей, бытовых тепловентиляторов, мощных промышленных тепловентиляторов, канальных нагревателей и подпотолочных воздушноотопительных агрегатов. Ожидаемая экономия электроэнергии от внедрения осваиваемых изделий взамен устройств на традиционных электронагревателях от 17 до 30%.

Производство подобных нагревательных элементов является в стране единственным.

На предприятии освоена технология производства терморезисторов с положительным температурным коэффициентом сопротивления (РТС) и различных нагревательных устройств с их применением. Базовым элементом нагревательных устройств является регистр, построенный на терморезисторах с элементами, эффективно отводящими тепло. При использовании различных типоразмеров регистров, набираются практически любые размеры тепловых панелей, которые могут быть встроены в системы конвективного нагрева воздушной среды, причем КПД системы повышается с увеличением производительности воздушного потока, проходящего через тепловую панель

и достигает 90–95%.

Такой эффект достигается за счет свойств полупроводниковой РТС-керамики из которой изготавливаются РТС-терморезисторы (позисторы), имеющей нелинейную зависимость электрического сопротивления от температуры нагрева. При подаче напряжения на терморезистор он начинает нагреваться и при превышении температуры Кюри (температура минимального сопротивления) сопротивление резко увеличивается, ограничивая протекающий через позистор ток и стабилизируется в так называемой «точке переключения», которая определяется составом керамики, может быть выбрана в достаточно широком диапазоне и для данных устройств установлена на уровне  $235 \pm 15^\circ\text{C}$ . Данная температура поддерживается в теле позистора даже при самом интенсивном съеме тепла с его поверхности.

Указанные свойства позисторов определяют преимущества построенных на его основе нагревательных устройств для обогрева воздуха:

- **Пожаробезопасность:** максимальная температура на поверхности нагревателя даже в аварийном режиме (при остановке вентилятора) не превышает  $250^\circ\text{C}$ , на корпусе реального нагревательного устройства за счет потерь при теплопередаче не более  $95^\circ\text{C}$ ;

- **Свойства саморегулирования:** отдаваемая тепловая мощность зависит от температуры окружающей среды (чем ниже температура, тем выше мощность) и скорости воздушного потока через нагреватель, что определяет возможность достаточно простого управления тепловой мощности изменением производительности воздушного потока (при отключении вентилятора потребляемая мощность уменьшается на порядок);

- **Экологическая чистота:** не сжигается кислород воздуха, не образуются угарный газ и другие вредные вещества, не выделяются специфические запахи;

- **Выдерживают значительные скачки напряжения** (пробивное напряжение 500–600 В) и изменение напряжения на  $\pm 25\%$  приводит к изменению мощности около  $\pm 10\%$ ;

- **Достаточно высокая удельная мощность:** нагревательный регистр размерами  $154 \times 102 \times 20$  мм обеспечивает мощность при производительности воздуха  $200 \text{ м}^3/\text{час}$   $2,5 \text{ кВт}$ ;

- **Отсутствие инфракрасного излучения,** что позволяет располагать рядом с регистрами детали из нетермостойких пластмасс, двигатели вентиляторов, что не приведет к их перегреву;

- **Имеют длительный срок службы** (не менее

20000 часов непрерывной работы, теряют работоспособность только при полном механическом разрушении).

Указанные преимущества и эффективность использования нагревательных устройств на основе РТС-терморезисторов подтверждены неоднократными экспериментами и испытаниями, а также исследованиями проведенными на кафедре физики ВГУ им. Машерова, ИФТТ НАН Беларуси, ИТА НАН Беларуси. При сравнительных испытаниях в одинаковых условиях (нагрев комнаты с 16 до  $33^\circ\text{C}$  градусов) 3-х киловаттных тешувентиляторов, построенных на ТЭНах и позисторных нагревательных регистрах последним была нагрета комната за 2,75 часа, что на 1 час меньше, чем тепло-вентилятором на ТЭНах, при этом затраты электроэнергии на 17,5% меньше у прибора с позисторными нагревателями. Экономия энергии в данном эксперименте составляет 0,51 т у.т.

Учитывая складывающуюся в мире ситуацию с энергоносителями, строительные и эксплуатационные затраты на использование наиболее употребительных методов подогрева помещений, можно прогнозировать тенденцию на увеличение доли электроэнергии на нужды отопления.

К основным преимуществам электрического отопления относятся:

- хорошая управляемость и высокая степень автоматизации процесса отпуска теплоты;

- отсутствие продуктов сгорания и загрязнения атмосферы, высокая транспортабельность электроэнергии, позволяющая отказаться от строительства тепловых сетей и внутридомовых трубопроводов систем отопления;

- простота и быстрота монтажа электропроводки к отопительным приборам, мобильность легких отопительных приборов;

- высокий КПД.

Применение нагревательных регистров и тепловых панелей на их основе позволяет изготавливать:

### **1. Тепловентиляторы, тепловые пушки**

Единичные регистры могут быть использованы в составе бытовых мощностью 1...1,5 кВт, тепловые панели — в мощных промышленных мощностью до 12 кВт. Регулировка мощности осуществляется подключением групп регистров или изменением скорости воздушного потока.

### **2. Канальные электронагреватели**

Канальные нагреватели представляют собой тепловые панели, встраиваемые в каналы систем приточной вентиляции. Мощность нагревателей определяется типом системы приточной вентиляции и может быть от единиц до десятков кВт. Ре-

гулирование мощности необходимо производить ступенчато включением определенного количества регистров, поскольку регулирование производительности воздушного потока в стационарных приточных установках затруднено необходимостью соблюдения баланса воздушной среды и применяемым типом двигателей вентиляторов.

### **3. Крышные и потолочные воздушно-нагревательные агрегаты**

Крышные и потолочные нагревательные агрегаты предназначены для отопления больших и достаточно высоких помещений: торговых залов, складов, производственных цехов и т.п. Агрегаты монтируются под перекрытием помещения. Потолочные агрегаты работают на принципе рециркуляции воздуха, крышные нагнетают внешний воздух или работают в смешанном режиме. Поток воздуха, направленный сверху вниз, вертикально или под каким-либо углом, ограничивает неблагоприятное расслоение температуры воздушной массы в помещении, понижает потери тепла через перекрытие, поднимая одновременно температуру в зоне пребывания людей. Очевидно, что для поддержания необходимой температуры, требуется меньшая мощность нагревательных элементов.

### **4. Технологические установки**

Технологические установки могут быть построены по типу тепловентиляторов, встроенных в комплекс технологического оборудования. Они за счет малой инерционности нагрева и высокой температуры воздуха на выходе обеспечат эко-

номичную и быструю сушку или нагрев деталей, материалов, сырья и т.д.

### **5. Прочие воздушно-отопительные агрегаты**

На базе регистров и тешовых панелей могут быть построены и другие тепловые устройства и системы в т.ч.: кондиционеры, электрокалориферы, воздушные тепловые завесы и т.д.

Опытно-промышленная эксплуатация воздушно-нагревательных устройств на предприятии показала их эффективность для вышеуказанных целей. За счет всех преимуществ позисторных нагревателей, установленных взамен ТЭНов равноценной мощности, и установленных в необходимых помещениях промышленных тепловентиляторов, экономия электроэнергии для целей догрева помещений до требований технологии составила 54%, в отопительный период не было случаев простоя по причине нарушения режимов микроклимата, достижение необходимой температуры перед началом смены происходило приблизительно на 30–40 минут быстрее, что позволяло включать центральный кондиционер на такое же время позже, экономя при этом на энергопотреблении мощными двигателями вентиляторов. Целевой показатель при этом по корпусу производства конденсаторов (правда с учетом роста объемов и достаточно мягкой зимы) составил 65% по корпусу. Там же, где при прочих равных условиях позисторные нагреватели не были установлены, даже планируемый показатель был едва достигнут, что говорит о высокой эффективности воздушнонагревательных устройств на позисторных нагревателях.

УДК 674.047

## **НОВОЕ В ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ МАТЕРИАЛОВ**

*Н.М. Горбачев, ИТМО им. А.В. Лыкова*

Сушка широко распространена в производстве древесины, минеральных удобрений, солей, химических волокон, полимеров, продуктов питания и т.д. Этот теплотехнический процесс, или точнее совокупность процессов переноса тепла и массы, сопровождающихся структурно-механическими изменениями высушиваемых материалов, является для ряда производств наиболее энергозатратной частью. Стоимость многих товарных или промежуточных продуктов в значительной степени определяется затратами на сушку: чтобы высушить 50 м<sup>3</sup> пиломатериалов необходимо сжечь ~ 14 тонн древесного топлива. Поэтому в настоящее время

основной задачей при создании сушильной техники является создание новых комбинированных методов сушки, которые обеспечивают снижение энергозатрат при сохранении требуемых свойств высушиваемых материалов.

Энергоэффективность тепловой сушки характеризуется коэффициентом полезного действия, определяемого отношением полезно используемой тепловой энергии к затраченной. Теоретически необходимое количество теплоты на испарение 1 кг влаги составляет 2200–2700 кДж. Верхний предел удельного расхода теплоты относится к удалению связанной влаги. В лесосушильных камерах

непрерывного действия эта величина составляет 3000–4000 кДж/кг, в камерах периодического действия 2700–6500 кДж/кг. Существует значительный резерв снижения затрат энергии.

Известны две основные группы методов повышения тепловой экологичности сушилок:

1) Теплотехнические и конструктивно-технологические — это выбор рационально-тепловых схем, режимных параметров сушки, коэффициентов рециркуляции сушильного агента, управление конечным влажосодержанием, улучшением аэродинамики использования отработанного сушильного агента;

2) Кинетические, способствующие повышению интенсивности сушки — интенсифицирующие внешний и внутренний теплообмен.

Первая группа методов связана с решением задачи на макро уровне, вторая — на микроуровне.

Анализ используемых методов показывает, что на практике наиболее эффективным являются комбинированные методы, причем выбор оптимального способа определяется его технико-экономической целесообразностью и зависит от стоимости топлив на момент выбора. Выбор теплотехнических и конструктивно-технологических мероприятий проводится на основе системного подхода с учетом потоков энергии и материалов установок, работающих совместно с сушилками. Например, использование уходящих газов котельных установок в качестве источника тепла сушилок или использование конденсата от регенераторов сушилок в качестве компонента защитного состава установок пропитки древесины.

Создание многоцелевых технологий является перспективным направлением повышения эффективности производства.

Тепло-массоперенос оказывает определяющее влияние на скорость сушки, качество продукта и расход энергии.

Распространенным способом интенсификации внешнего теплообмена является использование перегретого пара в качестве сушильного агента. При этом достигается:

- более полная утилизация тепла отработавшего сушильного агента;
- сокращение энергии на циркуляцию сушильного агента;
- возможность использования высоких температур, до 600°C.

Интенсификация внутреннего теплообмена достигается:

- изменением структуры материала;

– введением в объем материала специальных добавок;

– управлением характером распределения температуры, влажосодержанием и давлением в объеме материала за счет применения различных, изменяющихся во времени способов и параметров энергоподвода к материалу [1].

Интенсификация внутреннего теплообмена наиболее эффективна для сокращения общей длительности сушки и соответствующего уменьшения потерь энергии через ограждающие конструкции и с отработавшим сушильным агентом.

Современное состояние развития технологии контроля и управления позволяет реализовать «позонное» управление процессом интенсификации сушки, локализацию подвода энергии, что обеспечивает снижение расхода сушильного агента и энергии на его перемещение.

Автоматизация процессов сушки в конвективных лесосушильных камерах позволила нам реализовать эффективные прерывистые (импульсные) режимы сушки. В результате затраты электроэнергии были снижены на 12%, затраты тепловой энергии на 15%.

В настоящее время в ИТМО НАН Беларуси проводится комплекс работ по адаптации процессов сушки со сбросом давления пара для качественной сушки древесины. Этот способ известен с 1926 года. Однако отсутствие соответствующих технологий ограничивало его применение только для сушки твердых топлив.

При таком способе влажный материал предварительно прогревается в герметичной камере с ростом давления до 1,2 мПа, затем при быстром (несколько секунд) сбросе давления из камеры за счет аккумулированного тепла происходит бурное парообразование в объеме материала. Молярный поток выбрасывает частицы жидкости без испарения, в результате чего снижаются затраты тепла на сушку до 20–30%, т.е. реализуется комбинированное термомеханическое обезвоживание.

При дальнейшем росте стоимости теплоносителей может оказаться эффективным механическое обезвоживание на центрифугах, разработанных ранее в ИТМО и НПО «Центр».

В заключении следует отметить:

Для использования резерва существующих методов совершенствования сушильных процессов помимо научно-технических необходимо проведение организационно-технических мероприятий по инвентаризации существующих производств, использующих технологии сушки, энергоаудит и нормирование затрат на сушку.

Литература

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. – М.: Энергоатомиздат. – 1986.

## ПРИМЕНЕНИЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УЗЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ильин Е.Т. к.т.н., Колпацников В.Л. к.ф.-м.н.

В настоящее время в мире бурно развиваются направления, которые связаны с разработкой новых высоконадежных уплотнительных изделий нового поколения на основе терморасширенного графита (далее – ТРГ), арамидного волокна, углеволокна и политетрафторэтилена (тефлона) далее ПТФЭ и их композитов. Обладая рядом уникальных свойств, эти материалы уже сейчас широко применяются в качестве уплотнительных изделий на электростанциях, на предприятиях нефтепереработки, нефтехимии, химии и других отраслях. Основные характеристики уплотнительных материалов на основе ТРГ и сравнение их с ранее применявшимися изделиями, изготовляемыми на основе асбестового волокна, представлены в табл. 1.

графита, обладающие высокой термостойкостью и упругостью, что обеспечивает высокую степень герметичности при постоянных сменах температуры.

Основные особенности применения уплотняющего материала из ТРГ заключаются в том, что для сохранения его упругих свойств необходимо, чтобы кольцо находилось в зоне пластической деформации при приложении усилия, равного усилию обжатия. Поэтому плотность колец, устанавливаемых в сальниковую камеру в зависимости от рабочего давления, должна выбираться в соответствии с кривой пластической деформации. Оптимальное изменение плотности материала в зависимости от рабочего давления представлено на рис. 1.

Таблица 1

Основные характеристики уплотнительных материалов

Характеристика материала	Изделия из асбеста (АГ-50)	Изделия			
		из ТРГ	из арамидного волокна	из углеволокна	из ПТФЭ
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8-2,2	1,0-1,6	1,0-1,7	1,0-1,6	1,0-1,6
Температура эксплуатации, °С	400	-196 +450 (560)*	280	280-500	-200- +260
Теплопроводность, Вт/мК	0,03	3-150	0,32	3-5	0,24 (1,14)**
Химическая стойкость, Рн	4-12	1-14	2-12	1-14	0-14
Упругие деформации, %	1,5-3,5	8-10	2-3	2-4	1,4-3
Коэффициент трения по стали	0,37	0,1	0,25	0,2	0,02- 0,04

Примечание: \*— при уплотнении паровой среды;

\*\*— для графитонаполненного фторопласта.

Наиболее широкое применение на объектах энергетики нашли материалы из терморасширенного

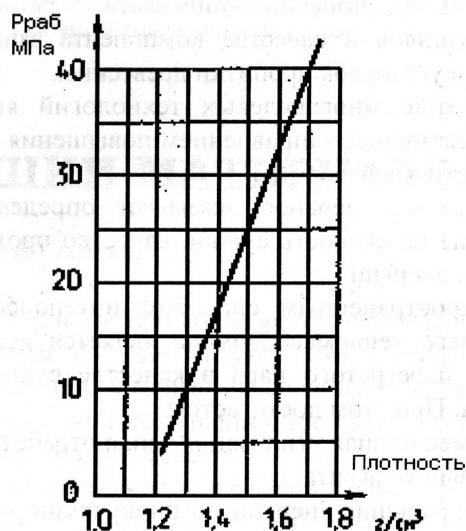


Рис. 1. Изменение плотности уплотняющего материала на основе ТРГ от рабочего давления

Учитывая, что в реальных условиях производства и эксплуатации, практически невозможно обеспечить непрерывное изменение плотности колец