

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии стекла и керамики

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

**Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология
неорганических веществ, материалов и изделий»
специализации 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситаллов»
заочной формы обучения**

Минск 2014

УДК 666.1.03(073)(0.034)
ББК 35.4я73
Т38

Рассмотрено и рекомендовано редакционно-издательским советом
Белорусского государственного технологического университета

Составитель *Л. Ф. Папко*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Микро- и нанотехника»
Белорусского национального технического университета

Т. В. Колонтаева

кандидат технических наук, доцент кафедры
технологии вяжущих материалов Белорусского государственного
технологического университета

А. А. Сакович

Технология волокнистых материалов и покрытий : учеб.-
Т38 метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 01 «Хими-
ческая технология неорганических веществ, материалов и изде-
лий» специализации 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситал-
лов» / сост. : Л. Ф. Папко. – Минск : БГТУ, 2014. – 83 с.

В учебно-методическом пособии приведена программа дисциплины «Технология волокнистых материалов и покрытий», изложены краткий конспект лекций, методики выполнения лабораторных работ по данной дисциплине, методические указания по выполнению курсовой работы, а также контрольные вопросы для защиты лабораторных работ и подготовки к экзамену.

УДК 666.1.03(073)(0.034)
ББК 35.4я73

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Цели дисциплины «Технология волокнистых материалов и покрытий» – формирование инженерных знаний и обеспечение глубокой специальной подготовки в области производства стекловолокнистых материалов и стекловидных покрытий по металлу и керамике.

Основными задачами при изучении дисциплины являются:

– ознакомление с видами волокнистых материалов и покрытий на основе стекла, их свойствами и областями применения, перспективами производства в Республике Беларусь и за рубежом;

– изучение современных способов подготовки шихты, процессов варки стекол, формования непрерывного и штапельного волокна и изделий на их основе;

– ознакомление с видами и способами получения композиционных материалов на основе стекловолокна;

– изучение современных способов синтеза эмалей, глазурей и способов формирования покрытий по металлу и керамике;

– ознакомление с возможными путями снижения расхода топливно-энергетических ресурсов, повышения качества продукции, методами предотвращения и устранения пороков стекла и брака изделий.

Знания, полученные в результате изучения дисциплины «Технология волокнистых материалов и покрытий», позволят обоснованно выбрать состав стекла и сырьевых материалов, рассчитать шихту для варки стекол для волокна, эмалей, глазурей, разработать рациональную технологическую схему и выбрать основные технологические параметры производства стеклянного непрерывного и штапельного волокна, получения эмалевых и глазурных фритт.

В соответствии с учебным планом дисциплины «Технология волокнистых материалов и покрытий» студент обязан:

1) выполнить лабораторные работы в период лабораторно-экзаменационной сессии;

2) сдать экзамен по программе дисциплины;

3) выполнить курсовую работу по одной из дисциплин специализации.

Лабораторные занятия предусматривают освоение методов контроля качества непрерывного стеклянного волокна и волокнистых теплоизоляционных материалов, а также освоение методик подготовки материалов, нанесения эмалевых и глазурных шликеров и порошков на основу и определения температурных интервалов обжига эмалевых и глазурных покрытий.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Раздел 1. Технология стеклянного волокна

Задачи дисциплины, ее содержание и основные разделы.

1.1. Виды стеклянных волокон

Непрерывное и штапельное волокно. Области применения стеклянного волокна и изделий на его основе.

1.2. Составы и свойства стекол для производства волокна

Типы и составы стекол. Физико-химические и технологические свойства стекол. Свойства волокон различных типов.

1.3. Сырьевые материалы для варки стекол и их подготовка

Требования к сырьевым материалам. Особенности подготовки сырьевых материалов. Технологические схемы подготовки сырьевых материалов и составления шихты. Технологическое оборудование для подготовки материалов. Утилизация отходов стекловолкна.

1.4. Технология непрерывного стекловолкна

Одностадийная и двухстадийная технологии непрерывного стеклянного волокна. Фильтрный способ формования волокна. Замасливатели для непрерывного стеклянного волокна.

Двухстадийная технология получения непрерывного волокна. Варка и выработка стекла. Установки для получения волокна.

Одностадийная технология получения волокна. Технологические режимы варки. Осветление и гомогенизация стекломассы. Стекловаренные печи, особенности их конструкции и кладки. Фидеры и их компоновка.

Формование волокна. Формующие устройства и приспособления. Геометрия зоны формования волокна. Теплообмен стекломассы с окружающей средой в зоне формования. Причины обрыва волокон в зоне формования. Стабилизация процесса формования непрерывного волокна.

Сушка волокна. Основные технологические стадии переработки непрерывного волокна.

1.5. Получение волокон с особыми свойствами

Технология получения тугоплавких волокон. Кварцевое волокно.

Кремнеземное волокно. Особенности технологии кремнеземного волокна.

Стекланные полые волокна. Свойства полых волокон. Получение полого волокна.

Высокопрочные высокомодульные волокна, их свойства. Особенности технологии высокопрочных высокомодульных волокон.

Защитные стекланные волокна.

1.6. Технология штапельного волокна

Составы стекл для получения штапельного волокна. Минеральное (каменное) волокно. Волокнистые теплоизоляционные материалы.

Сырьевые материалы и их подготовка. Варка стекл, технологические режимы варки. Способы получения штапельного волокна. Центробежный способ формования. Формование волокон методами раздува. Комбинированные способы формования волокна. Фильтр-но-дутьевой, центробежно-дутьевой способы. Технологическое оборудование.

Технология производства теплоизоляционных материалов на основе штапельного волокна.

Требования охраны труда, охраны окружающей среды при производстве стеклволокна и изделий на его основе.

Раздел 2. Композиционные материалы на основе стеклволокна

2.1. Использование стеклволокна в композиционных материалах

Основы упрочнения материалов волокнами. Армирующие элементы из стекланных волокон.

2.2. Стеклопластики

Полимерные связующие. Технологические стадии получения изделий из полимерных композиционных материалов. Свойства стеклопластиков. Применение стеклопластиков.

2.3. Стеклофибробетон

Виды стеклофибробетона. Стеклволокнистые армирующие материалы, их свойства. Свойства и применение стеклофибробетона.

Раздел 3. Технология эмалирования металлов

3.1. Эмали и защитные покрытия

История развития технологии эмалей и защитных покрытий. Назначение эмалей и защитных покрытий.

Классификация эмалей. Составы и свойства эмалей.

3.2. Получение эмалевых фритт, шликеров и порошков

Сырьевые материалы для варки эмалей. Получение эмалевой фритты. Варка стекла и грануляция расплава, применяемое оборудование. Получение эмалевых шликеров и порошков.

3.3. Технология эмалирования стальных изделий

Металлы для эмалирования. Подготовка поверхности изделий. Способы нанесения эмалевых шликеров и порошков. Сушка и обжиг изделий, применяемые теплотехнические агрегаты. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге грунтовой и покровной эмалей. Однократный обжиг грунтовой и покровной эмалей. Обжиг однослойных покрытий. Сцепление эмали с металлом. Методы контроля качества металла, фритты и эмалевых покрытий.

Раздел 4. Покрытия по керамике

4.1. Глазури и их назначение

Классификация глазурей. Составы глазурных стекол и их свойства.

4.2. Получение глазурных фритт, шликеров и покрытий

Применяемые сырьевые материалы. Подготовка шихты и варка стекла. Теплотехнические агрегаты для варки глазурных стекол. Получение фритты. Подготовка глазурного шликера. Способы нанесения глазурных шликеров. Обжиг глазурованных изделий. Контроль качества глазурного покрытия.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Технология стеклянного волокна

1.1. Виды стеклянных волокон

Стеклянным волокном называют искусственное волокно, изготовленное различными способами из расплавленного стекла.

Различают два вида стеклянных волокон: непрерывное (длиной в тысячи метров) и штапельное, состоящее из коротких отрезков длиной 0,1–50 см.

Диаметр волокон может изменяться от 0,5 мкм (микротонкое волокно) до 20 мкм и выше.

Непрерывное волокно представляет собой комплексную нить, состоящую из элементарных волокон диаметром от 3 до 23 мкм. Для текстильной переработки применяют волокна диаметром 3–14 мкм.

Линейная плотность комплексной нити – масса нити длиной 1 км, выраженная в единицах текс (T).

В соответствии с ГОСТ 8325 обозначение нити содержит техническую информацию и состоит из следующих элементов:

1. Первая буква в обозначении указывает тип стекла: А – щелочесодержащее; Е – электроизоляционное; S – высокопрочное; С – химически стойкое; AR – щелочестойкое.

2. Вторая буква указывает тип нити: С (непрерывная) – для обозначения непрерывных элементарных нитей; Д (прерывистая) – для обозначения нити из штапельного волокна.

3. Следующая за буквами одно- или двухзначная цифра указывает диаметр элементарной нити в микрометрах.

4. Для непрерывной крученой нити далее через пробел указываются линейная плотность в тексах, направление крутки, число кручений на метр нити.

1.2. Области применения стеклянного волокна и изделий на его основе

Стеклянные волокна различного химического состава обладают ценными свойствами – негорючестью, стойкостью к коррозии, высокой прочностью, высокими диэлектрическими и теплофизиче-

скими свойствами, что позволяет их применять в различных областях техники.

Крученые стеклонити применяются при производстве тканей, лент и сеток различного назначения (электроизоляционного, строительного, конструкционного); в качестве электроизоляционной обмотки проводов и кабелей, стартеров и трансформаторов; в качестве армирующего наполнителя стеклопластиковых изделий, стеклохолстов. Линейная плотность стеклонитей изменяется от 3,4 до 300 текс, диаметр элементарного волокна – 4–13 мкм.

Ровинг представляет собой некрученую пряжу, состоящую из одной (директ-ровинг) или нескольких комплексных нитей. Линейная плотность директ-ровингов составляет от 200 до 2400 текса, диаметр волокна – от 11 до 23 мкм.

Ровинг используется для производства тканых материалов, а также для получения рубленого волокна. Волокно рубленое используется для производства теплоизоляционных матов, а также в качестве наполнителя при изготовлении стеклопластиковых изделий.

Электроизоляционные материалы. Стеклоткани применяются при изготовлении ламинатов, из которых затем производятся печатные платы. Стеклопластиковые изделия на основе электроизоляционных материалов по электроизоляционным и механическим свойствам превосходят все материалы из органических волокон, могут эксплуатироваться в условиях повышенной влажности, высокой температуры – до 350°C.

Строительные материалы. Ткани используются в качестве основы рулонных кровельных материалов, применяемых для устройства кровель, гидроизоляции бетонных резервуаров, гидроканалов, мостов, фундаментов и подземных конструкций.

Строительные стеклосетки предназначены как для наружных, так и для внутренних работ: для армирования штукатурки, в системах тепловой изоляции зданий и сооружений, для заделки трещин, швов на потолках, стенах при проведении ремонтных работ и т. п.

Теплоизоляционные материалы. Данные материалы имеют рабочий диапазон температур от –80 до +350°C. Нетканые материалы представляют собой холст из хаотически расположенных волокон, скрепленных многократным иглопрокалыванием либо прошитых стеклонитью. Иглопробивные материалы используются в качестве изоляции духовок газовых плит, паровых котлов, турбин, оборудования, коммуникаций, трубопроводов, а также как шумоизоляция. Рулонные стеклопластики применяются в качестве покровного слоя при теплоизоляции труб и оборудования.

Для производства теплоизоляционных материалов широко используются штапельные волокна, которые в процессе изготовления формируют в виде ваты, матов, холстов, плит, скрепляемых органическими и неорганическими связующими.

Конструкционные стеклоткани применяются в качестве армирующего материала при изготовлении стеклопластиков.

Стеклопластики используются в производстве деталей корпусов автомобилей, яхт, катеров, летательной техники; различных конструкций всевозможных профилей; химических емкостей, аппаратов, трубопроводов и т. д.

Нетканые материалы и ткани, выпускаемые на основе полого волокна, применяются в качестве армирующего материала в производстве облегченных стеклопластиков, которые используются в летательной технике, спортивном машиностроении и судостроении, игровых конструкциях.

Кремнеземные материалы являются хорошей высокотемпературной изоляцией и могут длительно использоваться при температуре свыше 1000°C. Они применяются в различных отраслях промышленности: нефтеперерабатывающей, авиакосмической, в металлургии и судостроении, автомобилестроении, атомной энергетике, а также для противопожарной защиты.

1.3. Составы и свойства стекол для производства непрерывного волокна

Большинство марок стекловолокна получили свое название благодаря специфическим свойствам:

E (electrical) – низкая электрическая проводимость;

S (strength) – высокая прочность;

C (chemical) – высокая химическая стойкость;

A (alkali) – высокое содержание щелочных металлов, известково-натриевое стекло;

D (dielectric) – низкая диэлектрическая проницаемость;

AR (alkali resistant) – высокая щелочестойкость.

Для электрической изоляции применяется только бесщелочное алюмосиликатное или алюмоборосиликатное стекловолокно. Для конструкционных стеклопластиков, как правило, используют бесщелочное магнийалюмосиликатное или алюмоборосиликатное стекловолокно.

Механические характеристики стекловолокон напрямую зависят от метода производства, химического состава стекла, температуры и окружающей среды. Самую большую прочность имеют непрерывные стекловолокна из бесщелочного и кварцевого стекла. Повышенное содержание щелочей в исходном стекле значительно снижает прочность стекловолокон.

Стекло А. Более 40 лет назад значительное количество волокна изготавливалось из натрийкальцийсиликатного стекла. Стекло А также называют листовым, так как его почти всегда вырабатывали путем переплава отходов производства листового стекла. Этот состав характеризуется малой химической стойкостью к воде и щелочным средствам, низкой прочностью. Стекло А нельзя применять в качестве диэлектрического материала. Однако это стекловолокно дешевле других видов стеклянного волокна, и его можно использовать как наполнитель для стеклопластиков, когда к ним не предъявляются специальные требования.

Стекло С. Стекловолокно типа С разработано для использования в тех областях техники, где материал контактирует с агрессивными средами, главным образом с кислотами.

Стекло Е. Почти 90% всех стеклянных волокон, которые выпускаются сегодня в мире, – это стекловолокно марки Е. В настоящее время используется два типа стекловолокон марки Е. В большинстве случаев Е-стекло содержит 5–9 мас. % оксида бора. Современные экологические нормы в США и Европе запрещают выброс бора в атмосферу. В то же время улетучивание соединений бора в процессе варки составляет от 7 до 15 мас. %. Современные предприятия вынуждены устанавливать у себя дорогие системы фильтрации.

Стекловолокно марки Е получают на основе системы $MgO-CaO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2$. Содержание оксида кремния в борсодержащих стеклах марки Е составляет 52–56 мас. %, содержание оксида алюминия – 12–15 мас. %. Содержание оксида кальция отличается незначительно и составляет 21–23 мас. %. Содержание оксида магния в стекле варьируется от десятых долей процента до 4 мас. %.

Температура получения волокон из борсодержащего Е-стекла составляет 1140–1185°C.

В качестве альтернативы получают Е-стекла, не содержащие бора, например, волокно Advantex фирмы Owens Corning Corp. Они содержат, мас. %: SiO_2 – 59–60; Al_2O_3 – 12–15; CaO – 22–23; MgO – 3–4. Температура формования волокна из Е-стекла данного типа составляет 1250–1260°C. Более высокая температура получения

экологически чистых стеклянных волокон приводит к росту потребления энергоресурсов.

Механические свойства обоих видов волокон на основе E-стекла почти одинаковы. Прочность на разрыв составляет 3100–3800 МПа, однако модуль упругости у волокон без оксида бора выше (80–81 ГПа), чем у обычных волокон (76–78 ГПа). Основным отличием стекловолокна марки E без бора является более высокая кислотостойкость.

Стекло S. В состав этого стекла входит, мас. %: SiO_2 – 55–65; Al_2O_3 – 12–27; MgO – 4–20; CaO – 0–9. Благодаря высокому содержанию тугоплавких оксидов S-стекло имеет очень высокую температуру размягчения – до 1050°C. Прочность волокон при комнатной температуре составляет 4500–4800 МПа, модуль упругости – 86–87 ГПа.

Производство высокопрочных и высокомодульных стекловолокон – трудный и дорогостоящий процесс, так как эти стекла требуют высоких температур варки и выработки. Поэтому использование стеклянного волокна типа S ограничено такими областями, как авиа- и ракетостроение, военная промышленность.

Стекло AR. Щелочестойкие стекла выпускают на основе системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$. Содержание дорогого оксида циркония в них составляет 15–23 мас. %, а для снижения температуры варки и вязкости стеклорасплава добавляют значительное количество оксидов щелочных металлов, чаще всего Na_2O в количестве 18–21 мас. %.

Тугоплавкие составы значительно усложняют технологию производства волокна. Кроме того, цирконийсодержащее сырье дефицитно и дорого для изготовления массовой продукции. Температура получения волокон из AR-стекла составляет 1280–1320°C.

Прочность на разрыв волокон на основе AR-стекла составляет около 1500–1700 МПа, модуль упругости 72–74 ГПа.

Основная область применения волокон на основе AR-стекла – армирование цементов и бетонов.

Стекло D. Стекловолокно с низкими показателями диэлектрической проницаемости используется в электронной промышленности. Содержание оксида кремния в таких стеклах достигает 74–75 мас. %, оксида бора – до 20–26 мас. %. Из-за высокой стоимости, сложности получения и высокой летучести оксида бора волокна из D-стекла в настоящее время изготавливают только мелкосерийными партиями.

Кварцевое и кремнеземное стекло. Сверхчистые кварцевые волокна (содержание SiO_2 – около 99,9 мас. %) имеют температуру размягчения 1667°C и могут длительно эксплуатироваться при темпера-

туре до 1200°C. Прочность волокон составляет 4000 МПа. Кварцевые волокна имеют высокие диэлектрические свойства (диэлектрическая проницаемость – 2–4, тангенс угла диэлектрических потерь – 0,00015), а также устойчивы к кислым средам.

Вытянуть кварцевое волокно через фильеру практически невозможно. При промышленном производстве непрерывного кварцевого волокна применяют штабиковый метод (вытягивание из стержней).

Кварцевое волокно используется в космической промышленности, радиоэлектронике, химии, оптике.

В настоящее время все большее применение находят кремнеземные волокна, т. е. волокна с содержанием SiO_2 95–99 мас. %. Кремнеземные волокна получают путем кислотной обработки волокна алюмоборосиликатного состава либо натрийсиликатного волокна.

Наиболее экономичным является метод получения кремнеземного волокна на основе системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ с добавками 1–4 мас. % Al_2O_3 . Выработка стекловолокна ведется одностадийным способом. После переработки волокна в ткани, сетки проводится химическая обработка раствором серной кислоты.

1.4. Сырьевые материалы для варки стекол и их подготовка

Особенностью подготовки сырьевых материалов для варки тугоплавкого боросиликатного стекла является их тонкое измельчение, в том числе помол кварцевого песка, с целью интенсификации процессов стекловарения.

Сырьевые материалы для введения кремнезема. Для введения кремнезема используется песок кварцевый с содержанием SiO_2 не менее 98%, Fe_2O_3 – не более 0,2%. В Беларуси это кварцевый песок Гомельского ГОКа марок ВС-030-В, ВС-040-1.

Гранулометрический состав кварцевого песка следующий: частиц крупнее 400 мкм не допускается, частиц крупнее 53 мкм – не более 11%. Влажность песка должна составлять не более 0,5%.

Для обеспечения данных характеристик кварцевый песок проходит сушку и помол. Для сушки традиционно используется сушильный барабан. Однако более экономичной является сушка в пневмофонтанном сушильном агрегате, который включает в себя теплогенератор с горелкой, сушилку, систему загрузки, систему пылеулавливания.

Теплогенератор предназначен для получения теплоносителя путем сжигания природного газа. В теплогенераторе предусмотрен патрубок для отвода теплоносителя в сушильную камеру.

Газообразное топливо сжигается в горелочном устройстве. Продукты сгорания смешиваются с атмосферным воздухом, поступают в пневмотрубу и далее в верхнюю часть сушилки. К нижней части пневмотрубы крепится шнек загрузки кварцевого песка в сушилку, который подхватывается теплоносителем, движущимся вверх. При этом происходит интенсивный процесс сушки. Отработанный сушильный агент равномерно распределяется по площади осадительной камеры сушилки, скорость его существенно уменьшается, частицы песка оседают в разгрузочной камере и удаляются из агрегата через патрубок выгрузки песка.

Высушенный кварцевый песок элеватором подается в промежуточный бункер, из которого поступает на помол в центробежную мельницу. Песок подается через загрузочный патрубок в центр вращающегося ускорителя, который разгоняет частицы материала до скорости 98 м/с и выбрасывает их на отбойные плиты (отбойное кольцо), установленные в камере измельчения мельницы. Измельченный продукт подхватывается встречным воздушным потоком и, проходя за плитами (отбойным кольцом), поступает в классификатор воздушно-центробежного типа с разделением измельченного материала на две фракции по граничной крупности.

Готовый продукт воздушным потоком выносится из классификатора мельницы в циклон, крупный материал ссыпается по каналам классификатора в центр ускорителя на доизмельчение.

Сырьевые материалы для введения Al_2O_3 . Для введения Al_2O_3 используется глинозем с содержанием основного вещества не менее 98% и R_2O не более 0,5%. Более экономичным является использование каолина, содержащего, %: SiO_2 – 44–47; Al_2O_3 – 37–38; Na_2O – не более 2; Fe_2O_3 – не более 1.

Гранулометрический состав алюмосодержащего сырья: частиц крупнее 150 мкм – не более 1%, основная фракция (99%) – частицы размером 50–75 мкм. Для обеспечения заданного гранулометрического состава данные сырьевые материалы просеиваются.

Сырьевые материалы для введения B_2O_3 . В качестве сырья для ввода оксида бора традиционно используется борная кислота H_3BO_3 с содержанием основного вещества не менее 98,6%. При расчете шихты для варки стекла Е необходимо учесть улетучивание B_2O_3 , которое в газопламенной печи в зависимости от условий варки может составлять 8–25%.

Более дешевое сырье – колеманит, имеющий следующий усредненный состав, %: B_2O_3 – 40–42; CaO – 27–27; SiO_2 4–5; Al_2O_3 – 0,5; MgO – 2–3; Fe_2O_3 – не более 0,1; Na_2O+K_2O – 0,25–0,3. Гранулометрический состав колеманита: частиц более 250 мкм – не более 5%.

При использовании колеманита потери B_2O_3 при варке снижаются в сравнении с борной кислотой, однако недостаток данного природного материала – непостоянство состава и наличие нежелательных примесей.

Подготовка борсодержащих материалов включает просев и помол отсева в дезинтеграторе.

Сырьевые материалы для введения MgO и CaO . Для введения MgO используется доломит, с которым вводится частично и CaO . Остальное количество CaO вводится мелом или известняком. Размер частиц обычно составляет до 160 мкм: частиц крупнее 160 мкм – не более 2%; частиц крупнее 63 мкм – не более 60%; частиц крупнее 400 мкм не допускается.

Для обеспечения заданного гранулометрического состава кусковой доломит и известняк подвергаются дроблению в щековой дробилке до кусков размером не более 25 мм, а затем в аэробильной мельнице происходит одновременная сушка и помол материала с воздушной сепарацией. Сушка осуществляется за счет поступления в мельницу горячих дымовых газов с температурой не выше $450^\circ C$, которые образуются в результате сгорания в топке природного газа.

Вспомогательные сырьевые материалы. В качестве ускорителя варки используется плавиковый шпат – природный фторид кальция. Он содержит, мас. %: F – 46,3–47,3, CaO – 68–70, примеси SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Гранулометрический состав: частиц размером свыше 150 мкм – не более 4%; частиц размером свыше 400 мкм не допускается.

При расчете шихты необходимо учесть улетучивание фтора, которое может составлять 50–65% (в электропечах около 25%).

В качестве осветлителя используется сульфат натрия. Он также ускоряет растворение остаточных частиц кремнезема. Содержание Na_2SO_4 в техническом сульфате натрия составляет не менее 98%. Он используется в виде гранулированного порошка с размером частиц около 150 мкм.

Стекло типа Е может содержать до 0,3–0,4 мас. % оксидов железа, которые вводятся в качестве примесного компонента с сырьевыми материалами. Оксиды железа ускоряют процесс формования, что связано с поглощением инфракрасного излучения и влиянием на теплопрозрачность стекломассы.

Утилизация отходов стекловолокна. Количество отходов стекловолокна может значительно изменяться в зависимости от изготавливаемой продукции и технического уровня производства и составлять 10–25 %. Отходы содержат до 8 мас. % V_2O_5 и, следовательно, являются ценным сырьем. Их использование, как и использование боя любого стекла, ускоряет процессы стекловарения и дает экономию энергоресурсов при варке.

Утилизация отходов стекловолокна осложняется тем, что их поверхность покрыта композицией органических материалов и воды – замазливателем. Замазливатель в стекловаренной печи выгорает при температуре менее 600°C и как восстановитель воздействует на окислительно-восстановительные процессы. В особенности это касается влияния на соотношение Fe_2O_3/FeO в стекломассе. При изменении данного соотношения меняется теплопрозрачность стекломассы, что в свою очередь влияет на распределение температур по глубине бассейна стекловаренной печи и скорость твердения стекла в процессе формования.

В мировой практике применяются следующие способы утилизации отходов стекловолокна:

1. Рубка стекловолокна на отрезки размером 20–30 мм, сушка и подача в загрузчик шихты. Для удаления влаги может использоваться центробежный сепаратор, при этом остаточная влажность может составлять около 2%.

2. Рубка отходов волокна во влажном состоянии, сушка в сушильном шкафу до полного удаления органических веществ, смешивание полученного сыпучего материала с шихтой в заданном соотношении.

Процедура обработки отходов волокна при этом включает следующие шаги:

- сбор отходов волокна из отделения формования волокна;
- резка отходов на длину 10–20 мм для упрощения последующей обработки и уменьшения объема отходов;
- магнитная сепарация отходов;
- выжигание всех органических веществ при температуре $650\text{--}750^\circ\text{C}$ в печи, при этом волокно становится очень ломким;
- размол чистых волокон в шаровой мельнице;
- подача отходов на дозировочно-смесительную линию и дозировка как компонента шихты или непосредственно в загрузчик шихты.

3. Плавление отходов волокна в газовой пламенной печи непрерывного действия с выработкой методом мокрой грануляции. Получаемый гранулят (эрклез) высушивается в сушильном барабане до влажности не

более 0,5%. Помол эрклеза проводится в центробежной мельнице. Далее порошок стекла используется в качестве компонента шихты, т. е. дозируется и смешивается с шихтой в смесителе. Данный метод обеспечивает полное удаление замазливателя, усреднение состава эрклеза, однако создает экологические проблемы при плавлении отходов.

Эрклез может вводиться в количестве от 10 до 30% от объема шихты. Большое количество эрклеза рекомендуется использовать при производстве ровингов, которые отличаются большим диаметром волокна (11–17 мкм).

Подготовка шихты. Наиболее рациональным является хранение подготовленных сырьевых материалов в силосах. Готовые компоненты, входящие в состав шихты, транспортируются пневматически из подготовительного цеха в промежуточные бункеры дозирочно-смесительных линий. Дозирование каждого сырьевого материала осуществляется в автоматической последовательности. На каждой линии подачи сырьевых материалов с помощью наклонных пневматических конвейеров имеются малые бункеры хранения материалов, снабженные ротационными клапанами. Когда в весовой бункер подано приблизительно 90% сырьевого материала, пневматический конвейер останавливается и оставшиеся 10% материала подаются ротационным клапаном из малых бункеров хранения.

Для смешивания компонентов шихты могут использоваться смесители различных типов, например, барабанные, тарельчатые. Однако в наибольшей мере для смешивания тонкоизмельченных компонентов пригодны пневмосмесители. Компоненты партии шихты тщательно перемешиваются воздухом, подаваемым через нижнюю часть смесителя в течение предварительно заданного времени. Как только цикл смешивания завершен, готовая шихта направляется пневматическим конвейером в загрузочный бункер ванной печи для варки стекла. При этом система смешивания и транспортировки шихты достаточно герметична и не допускает пыления шихты. Для исключения расслоения шихты ее транспортировка должна производиться в плотном слое. Шихту можно увлажнить, однако при этом увеличиваются потери V_2O_3 и фторида во время ее плавления.

1.5. Одностадийная технология непрерывного стекловолокна

Технологические режимы варки, особенности конструкции и кладки стекловаренных печей. Требования к качеству стекла для

стекловолокна очень высоки. Не менее 90% стекловолокна производится из стекла типа Е, поэтому при варке необходимо учесть его особенности:

- высокие температуры варки, что связано с отсутствием в составе наиболее эффективных плавней – оксидов щелочных металлов;
- активная коррозия расплавом стекла Е большинства огнеупоров;
- наличие в составе летучих B_2O_3 и F_2 , при этом потери от улетучивания данных компонентов зависят от температуры в печи, ее производительности, влажности шихты.

Для достижения требуемого качества стекла необходимо обеспечить постоянство состава шихты, постоянный съем стекломассы, стабильность температурного и гидравлического режимов работы стекловаренной печи.

Наиболее распространенный тип печи, используемой для варки стекла типа Е, – рекуперативная газовая стекловаренная печь с соотношением длины к ширине от 3:1 до 4:1. В настоящее время часто используется дополнительный электроподогрев, что позволяет увеличить производительность стекловаренной печи, снизить температуру варки и сократить таким образом потери от улетучивания соединений бора и фтора. Распространенная схема установки электродов – в зоне загрузки шихты и в зоне освещения. Удельный съем стекломассы может составлять от 1,2 до 1,5 т/м² в сутки.

Из-за оксидов железа, которые вводятся природными сырьевыми материалами и значительно снижают теплопередачу к нижним слоям стекломассы, глубина бассейна невелика и может составлять от 500 и 1200 мм. Она зависит от размеров печи, типов огнеупоров, выбранных для дна бассейна (включая тепловую изоляцию), наличия электроподогрева. Температурный режим стекломассы должен исключать ее кристаллизацию в придонных слоях, при этом следует иметь в виду, что температура кристаллизации стекла Е составляет 1130–1140°C.

Рекомендуемая глубина бассейна, мм: 610–630 – для печей с производительностью 10–15 т в сутки; 1000 – 40 т; 1200 мм – 75 т.

Для кладки стекловаренных печей используется стеклоустойчивые огнеупоры – хромоксидные, цирконистые.

Хромоксидные огнеупоры содержат 94–96% Cr_2O_3 и 4% TiO_2 . Они характеризуются высокой температурой службы (более 1750°C). Стеклоустойчивость хромоксидных огнеупоров в 5–10 раз превышает аналогичную характеристику всех огнеупорных материалов, особенно стекол алюмоборосиликатного состава. Не рекомендуется использовать хромоксидные огнеупоры в газовом пространстве стекловарен-

ной печи, так как это приводит к большой возгонке оксида хрома, а также растрескиванию блоков.

Керамические цирконистые огнеупоры по составу делятся на следующие типы:

- цирконовые, содержащие 65–68% ZrO_2 (остальное SiO_2);
- циркономуллитовые и цирконокорундовые с 10–35% ZrO_2 и 45–70% Al_2O_3 ;
- хромкорундоциркониевые и хромкорундовые с 10–80% Cr_2O_3 , 15–85% Al_2O_3 и 7–20% ZrO_2 .

Кладка стен бассейна печи выполняется из хромоксидных блоков толщиной 150 мм, последующий слой – из циркономуллитовых или цирконовых, тепловая изоляция делается из шамотных огнеупоров. При толщине хромоксидных блоков 300 мм цирконистые огнеупоры не используются. Для кладки дна бассейна используются хромоксидные огнеупоры, однако блоки, в которых имеются отверстия для электродов, – из цирконистого огнеупора.

Для кладки верхнего строения печи используются муллитовые огнеупоры. Канал выхода дымовых газов, проходящих от плавильной ванны до рекуператора, выполняется также из муллитового огнеупора. Из-за коррозии огнеупора летучими компонентами и пылью шихты под канала должен быть выложен хромсодержащим огнеупором. Канал имеет уклон, предотвращающий попадание расплава в стекломассу.

Из загрузочных бункеров ванн печей подготовленная шихта подается в загрузчик. Он представляет собой шнековый конвейер с переменной скоростью вращения, имеет охлаждаемые водой секции. Используются также двухшнековые загрузчики. Высота подачи шихты на 150–200 мм выше уровня стекломассы. Скорость подачи шихты контролируется регулятором уровня стекломассы.

По всей ширине стеклоплавильной ванны в зоне осветления находятся трубки барботера из платинородиевого сплава, расположенные в один или два ряда. С помощью этих трубок воздух проходит с регулируемой скоростью через расплав стекла, способствуя естественным конвекционным потокам и улучшая гомогенизацию и осветление стекломассы. Ряды барботажа обычно расположены перед квельпунктом для обеспечения нормальных конвекционных потоков, в некоторых случаях – в зоне загрузки шихты.

Из выработочной зоны стекловаренной печи сваренная стекломасса поступает в фидер. Он предназначен для подготовки стекломассы к формованию и подаче ее к фильерным питателям щелевого типа.

Компоновка фидера зависит от производительности стекловаренной печи. Фидер представляет собой Т-, Н- или Ж-образную систему и состоит из форканала, промежуточного и выработочных каналов.

В форканале и промежуточном канале происходит стабилизация температуры стекломассы, поступающей из ванной печи, и гомогенизация. В дне каждого выработочного канала фидера имеются щели прямоугольного сечения, которые располагаются по всей его длине на равном расстоянии друг от друга и предназначены для установки фильерных питателей. Продольные оси щелей размещаются перпендикулярно или параллельно продольной оси выработочного канала фидера. Интервал между питателями может изменяться от 500 до 1220 мм (в среднем 950 мм) и зависит от размера питателя, расположения и размера вспомогательного оборудования и потребности в доступе для работы и обслуживания. Для печи производительностью 20 т общая длина рабочих каналов составляет 25–30 м.

Формование непрерывного стеклянного волокна. *Фильерный способ формования.* В процессе формования непрерывного стеклянного волокна должна быть получена комплексная нить заданной линейной плотности.

Комплексные нити заданной линейной плотности вырабатываются технологическим оборудованием, которое скомпоновано в прядильные ячейки непосредственно под выработочными каналами фидера.

К основному технологическому оборудованию прядильной ячейки можно отнести:

1) фильерные питатели (бушинги) с количеством фильер 407, 646, 814, 1200, 1600, 2400, 4000. Фильеры представляют собой короткие (3–6 мм) тонкостенные (толщина – 0,4–1 мм) трубочки с внутренним диаметром 1–2,5 мм, впаянные с одного конца в фильерную пластину;

2) ленточные (тканевые) или валковые (графитовые) замасливающие устройства (аппликаторы).

3) наматывающие аппараты.

Подготовленная в фидере стекломасса поступает через щели в фильерные питатели, которые смонтированы под этими щелями. Корпус фильерного питателя выполняет функции электронагревателя, выделяющего тепло при прохождении через него электрического тока, который подводится через комбинированный медный шинопровод от трансформатора.

За счет нагрева корпуса питателя температура поступающей в него стекломассы поддерживается в выработочном интервале 1190–1250°C. Температура, которая определяет выработку стекло-

нитей определенного текса, автоматически регулируется с точностью $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$.

Подготовленная стекломасса под воздействием гидростатического напора вытекает из фильер в виде струек, которые охлаждаются при принудительном вытягивании и формируются в элементарные стеклонити. Отбор тепла в зоне формирования элементарных стеклонитей, способствующий стабилизации выработки стеклонити, осуществляется с помощью водоохлаждаемого холодильника ламельного типа, установленного в подфильерной зоне.

Сформованные элементарные стеклонити охлаждаются путем орошения их водой с помощью водораспыляющей форсунки, установленной в зоне формирования.

Элементарные волокна собираются в один пучок и в зависимости от ассортимента разделяются на одну, две или более прядей. Каждая прядь заводится в конусные канавки графитовых нитесборников, расположенных непосредственно под ленточным или валковым замасливающим устройством.

Замасливатель наносится на элементарные нити при помощи двух вращающихся лент или графитового вала замасливающего устройства. Замасливатель склеивает элементарные нити и защищает их от истирания и разрушения при текстильной переработке.

Равномерная раскладка нити по всей длине манжет производится с помощью нитераскладчика спирального типа (при намотке ровинга на цилиндрические паковки – с помощью бегункового раскладчика). С увеличением объема бобины скорость намотки уменьшается (до 10%). В процессе выработки стеклонити спираль нитераскладчика орошается водой с помощью форсунок.

Система управления наматывающего аппарата предназначена для намотки выработанной стеклянной нити на манжеты. Скорость вращения бобинодержателя, цикл намотки стеклянной нити, поворот стола, подача резервных манжет в рабочее положение и заправка их стеклонитью происходит автоматически. После завершения цикла намотки стеклонити автоматически перезаправляются на пустые манжеты, одетые на второй бобинодержатель.

Стеклонить в зависимости от назначения может проходить сушку в СВЧ-сушилке.

Технологические параметры формирования. Механизм процесса формирования состоит из двух этапов:

1) течение стекломассы через фильеры – определяет производительность установки;

2) утонение в зоне формования – определяет устойчивость процесса и качество волокна.

Объем луковицы составляет от 0,1 до 4 мм³ (соответственно для диаметра волокна 3–20 мкм). Длина луковицы определяет зону формования – расстояние от нижнего среза фильеры до точки, в которой скорость движения волокна равна скорости вытягивания (температура стеклования), и составляет 2,5–25 мм.

Для вытягивания волокна необходимо приложить усилие 1–5 Н, которое затрачивается на преодоление сил внутреннего трения F_{η} и поверхностного натяжения F_{σ} :

$$F + F_g = F_{\eta} + F_{\sigma}.$$

Сформованное волокно охлаждается с большой скоростью (до 1500°С/с). Это делает невозможным получение супертонких и ультратонких волокон (диаметр менее 3 и 1 мкм соответственно).

Стабильность процесса формования волокна определяется вязкостью стекломассы в луковице, а также соотношением вязкости и поверхностного натяжения. При низких показателях вязкости на поверхности струи стекломассы под действием сил поверхностного натяжения возникают капиллярные волны и может произойти разрыв струи. При этом возможно только капельное истечение стекломассы. С ростом соотношения вязкости и поверхностного натяжения повышается способность к волокнообразованию. Повышение вязкости при снижении температуры ограничивается температурой кристаллизации. Для Е-стекла температура кристаллизации составляет 1130–1140°С, соответственно температура выработки должна быть 1200–1210°С. Рабочий интервал вязкости составляет 10²–10^{2,8} Па·с и достигается при температурах менее 1250°С.

Снижение поверхностного натяжения стекломассы уменьшает разнотолщинность волокна и его обрывность. Однако с понижением поверхностного натяжения возрастает смачиваемость металла стекломассой (снижение краевого угла смачивания). Это может привести к затеканию фильерной пластины (стекломасса поднимается вверх по фильере и растекается по пластине), что вызывает нарушение температурного режима формования. Для снижения смачиваемости необходимо уменьшить температуру стекла путем регулирования высоты подфильерного холодильника.

Производительность установок для получения непрерывного стеклянного волокна методом вытягивания через фильеры определя-

ется дебитом стекломассы, т. е. количеством стекломассы, вытекающей из фильер в единицу времени.

Величина дебита и зависящая от него величина диаметра вытягиваемого волокна – важнейшие характеристики процесса формирования стеклянного волокна. Дебит может быть определен по формуле Хагена – Пуазёйля. Закон Хагена – Пуазёйля – это закон установившегося течения вязкой несжимаемой жидкости в тонкой цилиндрической трубке. Закон установлен эмпирически в 1839 году Г. Хагеном, а в 1840–1841 гг. – независимо Ж. Л. Пуазёйлем:

$$Q = \frac{\pi D^4 \rho g H}{128 \eta L},$$

где Q – секундный объемный расход стекломассы, м³/с; D – внутренний диаметр фильеры, м; $\Delta P = \rho g H$ – гидростатический напор, Па (ρ – плотность стекломассы при температуре формования; H – высота слоя стекломассы в фильерном питателе, составляющая 75–100 мм); η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; L – длина фильеры, м.

Таким образом, дебит стекломассы из фильеры зависит от гидростатического давления над фильерой, вязкости и плотности стекломассы, диаметра, высоты и конфигурации фильер. При повышении гидростатического давления, плотности стекломассы, а также диаметра фильер дебит возрастает, а при увеличении вязкости стекломассы и длины фильер – уменьшается.

Наиболее существенно на расход стекломассы влияет диаметр фильер: Q пропорционально D^n , где n может изменяться от 4 до 5,5. Уменьшение расхода стекломассы при увеличении длины фильеры связано с ростом вязкости при движении стекломассы из-за интенсивного охлаждения стенок фильер. Влияние температуры фильерной пластины проявляется в изменении вязкости стекломассы.

Увеличение скорости вытягивания в самых широких пределах (в десятки и сотни раз) повышает дебит только на несколько процентов. Скорость вытягивания влияет только на диаметр волокна. При этом

$$d^2_1 v_1 = d^2_2 v_2 = d^2_3 v_3,$$

где d – диаметр волокна, м; v – скорость вытягивания, м/с.

Должен быть баланс между объемом стекла, которое формируется в волокно, и объемным расходом стекла через фильеру.

Обрывность волокна. При выработке волокна происходят обрывы элементарных волокон и первичной нити, снижающие производитель-

ность установок. Обрывы могут происходить в зоне формования, на нитесборнике, замасливающем устройстве, раскладчике стеклонити.

Волокно при формовании находится под действием растягивающих усилий, вызывающих напряжения растяжения. При стабильном процессе формования эти напряжения не могут вызвать обрыв, так как они составляют около 10% от среднего предела прочности волокна при растяжении. Следовательно, обрыв вызывается резким ростом напряжений растяжения. Колебания уровня стекломассы и скорости вытягивания относительно малы. Основной фактор, влияющий на обрывность в зоне формования, – изменение вязкости стекломассы вследствие ее термической или химической неоднородности.

Термическая неоднородность стекломассы вызвана неравномерностью распределения температур по длине фильерной пластины.

Химическая неоднородность связана с наличием в стекломассе камней, шпиров, свилей, которые вызывают резкое изменение вязкости стекломассы. Рост вязкости приводит к понижению дебита стекломассы, при этом диаметр волокна может уменьшаться в несколько раз.

На обрывность волокна в зоне формования влияют воздушные потоки, которые вызываются сквозняками, вентиляцией, естественной конвекцией. При увеличении скорости потоков резко возрастают теплоотдача и вязкость «луковицы».

На обрывность волокна влияет также его диаметр. С ростом диаметра волокна снижаются напряжения, так как увеличивается площадь сечения и уменьшается скорость вытягивания.

Обрыв элементарных нитей может происходить в зоне замасливающего устройства в случае, когда оно не отрегулировано по отношению к фильерной пластине. Обрыв нити в процессе намотки может быть вызван загрязнением или повреждением спирали нитераскладчика.

Замасливатели для стеклянного волокна. Поверхность стеклянных волокон при вытягивании покрывается замасливателем, который защищает нити от истирания и разрушения при текстильной переработке.

При размотке нитей, намотанных на бобину, в случае плохой склейки происходит отщепление и разрыв волокон, нить становится пушистой и теряет первоначальную прочность. Такая нить при крутке, подвергаясь трению о детали крутильной и сновальной машин, разрыхляется, обрывается и становится непригодной для дальнейшей текстильной переработки.

Обрывность текстильной нити в процессе переработки зависит от ее прочности, а также от качества замасливателя, который должен не

только склеить и защитить нить от истирания, но и придать ей достаточную эластичность.

Необходимо, чтобы замасливатель удовлетворял следующим требованиям:

- склеивал волокна, но препятствовал склеиванию нитей на бобине;
- создавал на нити прочную, эластичную и устойчивую к истиранию пленку;
- препятствовал образованию и накоплению статического электричества;
- не вызывал коррозии текстильного оборудования;
- сохранял однородность и стабильность в течение технологического цикла.

Замасливатели представляют собой многокомпонентную водно-эмульсионную систему, в состав которой входит около 10% различных веществ. Эти вещества можно разделить на следующие группы: клеящие вещества, пластификаторы, эмульгаторы и вода.

Клеящие вещества обеспечивают склеивание волокон в нить. К ним относятся: поливиниловый спирт, поливинилацетатная эмульсия, различные смолы, латексы, крахмал, декстрин, желатин.

Пластификатор придает стеклянной нити гибкость, предупреждает ломкость пленки замасливателя и ее осыпание. Наиболее распространенными пластификаторами являются: растительные и минеральные масла, дибутилсебацат, дибутилфталат, политерпены, олеиновая кислота, глицерин, триэтаноламин. В связи с тем что почти все пластификаторы нерастворимы в воде, для их эмульгирования применяется поверхностно-активные вещества.

Различают два типа замасливателей:

- текстильные замасливатели, которые предохраняют волокна от разрушения в процессе текстильной переработки, но плохо смачиваются полимерными связующими, поэтому перед пропиткой стекловолокна полимерные связующие должны быть удалены;
- прямые замасливатели, которые предохраняют волокна от разрушения при трении и хорошо совмещаются с полимерными связующими.

Прямые замасливатели не подлежат удалению и улучшают свойства волокна и изделий на их основе. С помощью химических связей они обеспечивают хорошую адгезию как с поверхностью волокна, так и со связующим.

Распространенным текстильным замасливателем является «парафиновая эмульсия», представляющая собой многокомпонентную вод-

но-эмульсионную дисперсию, содержащую парафин. Прямые замасливатели содержат кремнийорганические соединения – аппреты.

1.6. Двухстадийная технология непрерывного стекловолокна

При двухстадийном способе волокно вырабатывается из стеклоплавильных сосудов или печей, питаемых стеклянными шариками, штабиками или эрклезом.

Двухстадийная технология включает следующие процессы и операции:

- подготовку и подачу стеклянных шариков в стеклоплавильный сосуд;
- плавление шариков и подготовку стекломассы к формованию;
- заправку грубых волокон, формование волокон, охлаждение волокон, нанесение на них замасливателя и соединение их в нить, раскладку и намотку нити на бобину.

Число волокон, получаемых с одного стеклоформирующего устройства, зависит от назначения стеклянной нити для различных видов стеклянных материалов (тканых и нетканых) и составляет от 100–800 и более. Для интенсификации охлаждения стекломассы при формовании волокна применяют охлаждающие устройства: пластинчатые или трубчатые подфильерные холодильники, а также различные типы дутьевых устройств.

Процесс формования непрерывного волокна при двухстадийной технологии аналогичен процессу формования при одностадийном способе.

При двухстадийной технологии выработки волокна обеспечивается лучшая химическая однородность стеклорасплава. Это дает возможность получить волокно тонких номиналов (диаметр волокна – 4–7 мкм) при достаточно стабильном процессе вытягивания. Химическая однородность обеспечивается за счет:

- оценки качества стеклошариков и их разбраковки;
- наличия в стеклоплавильном сосуде перфорированного V-образного экрана с сеткой на нем, так что включения не попадают в зону формования.

При выработке волокна низких тексов производительность бушингов мала (десятки килограммов), в связи с чем нерационально организовывать малопроизводительную выработку при варке стекла в печах большой производительности (40 т и более).

Кроме этого, при двухстадийной выработке можно использовать стекло различных составов, т. е. получить волокна различных типов. В частности, таким способом получают высокопрочное высокомолекулярное волокно. Температура выработки такого волокна составляет порядка 1400°C.

Методом двухстадийной выработки получают также полое волокно с коэффициентом капиллярности 0,5, которое используется для изготовления облегченных стеклопластиков.

Процесс получения полого непрерывного стеклянного волокна основан на подаче воздуха под необходимым давлением в зону формирования («луковицу») через сопло, расположенное внутри фильеры концентрически ее отверстию.

1.7. Текстильная переработка непрерывного стекловолокна

Текстильная переработка непрерывного стекловолокна включает следующие стадии:

1. Размотка и крутка комплексной нити – подготовка к последующим технологическим операциям переработки в текстильные материалы. Нить сматывается с бобины и наматывается на катушку или шпули. Комплексная нить приобретает компактность, увеличивается ее прочность, изменяются упругие свойства (жесткость и гибкость).

2. Снование – натягивание нитей основы и намотка на барабан, при этом используются как крученые, так и некрученые нити.

3. Шлихтование – пропитка нитей основы композицией органических веществ (шлихтой). При этом нити склеиваются, покрываются сплошной пленкой, нить становится более устойчивой в процессе ткачества.

4. Ткачество.

5. Отделка тканей. Часть тканей, получаемых на основе волокна с использованием текстильных и прямых замасливателей, отправляется потребителю. Ткани, к которым предъявляются более высокие требования, в частности по электрофизическим свойствам, проходят термохимическую обработку. Это ткани для получения конструкционных стеклопластиков, материалы для электротехнической и электронной промышленности, материалы декоративного назначения.

При термохимической обработке удаляется замасливатель. Удаление может производиться в ходе непрерывного процесса при температуре 700–750°C и значительной скорости движения тканей и при периодическом процессе в течение длительного времени. При терми-

ческой обработке проводят обработку тканей 5%-ным раствором нитрата калия для более полного удаления замасливателя. Затем проводится обработка в аппретирующем растворе (материалы для стеклопластиков) либо в другом, например, растворе солей при окраске тканей и сеток.

Может использоваться двухстадийная термообработка:

– быстрая обработка при температуре 350–400°C в непрерывном режиме (карамелизация);

– периодический процесс термообработки – паковки с тканью помещаются в печь периодического действия.

При получении кремнеземных материалов проводится химическая обработка тканей и сеток в растворе кислот. При этом происходит процесс выщелачивания, т. е. удаления оксида натрия из состава исходного натрийсиликатного стекла.

6. Получение нетканых материалов. Получают холсты из рубленого ровинга или непрерывного волокна. Мягкие холсты получают прошивкой, химически связанные – обработкой непрерывного или рубленого волокна жидким или порошковым связующим.

1.8. Технология штапельного волокна (минеральной ваты)

Виды минеральной ваты. В понятие *минеральная вата* согласно ГОСТ 52953–2008 «Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения» входят следующие ее разновидности:

– стеклянная вата – минеральная вата, изготовленная из расплава стекла;

– каменная вата – минеральная вата, изготовленная преимущественно из расплава изверженных горных пород (базальтовое волокно);

– шлаковая вата – минеральная вата, изготовленная из расплава доменного шлака.

Каменную вату производят из различных горных пород, близких по химическому составу, – базальта, базанитов, амфиболитов, габродиабазов или их смесей. В качестве сырья для производства базальтовых волокон используются базальтовые горные породы, средний химический состав которых следующий, мас. %: SiO₂ – 35–60; Al₂O₃ – 11–19; Fe₂O₃ – до 9, FeO – до 13; MgO – 1,5–15; CaO – 1,5–35; Na₂O – 1–5; K₂O – до 3; TiO₂ – до 3. Температура применения базальтового волокна – от –260 до +560°C (кратковременное воздействие до +700°C), теплопроводность составляет 0,031–0,038 Вт/(мК), химическая стойкость существенно выше, чем у стекла Е.

Качество каменной ваты во многом определяется модулем кислотности – соотношением следующих компонентов:

$$M_K = (M_{SiO_2} + M_{Al_2O_3}) / (M_{CaO} + M_{MgO}).$$

Модуль кислотности изменяется от 1,2 до 1,6 и выше. С увеличением модуля кислотности повышается химическая стойкость, механическая прочность ваты, а значит, ее долговечность.

Однако повышенное содержание SiO_2 , Al_2O_3 приводит к повышению вязкости, поэтому помимо модуля кислотности при выборе горных пород для производства волокна учитывают модуль вязкости – отношение содержания $SiO_2 + Al_2O_3$ к содержанию оксидов-модификаторов (Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O).

Модуль кислотности может регулироваться при подшихтовке карбонатными породами. При производстве волокна на основе горных пород главная проблема – непостоянство химического состава расплава, сложность его гомогенизации и осветления из-за низкой теплопроводности.

Выбор плавильного агрегата для получения расплава горных пород зависит от вида сырья, требуемой производительности, наличия электроэнергии и вида топлива. Если рассматривать тепловые агрегаты по удельным затратам топлива на получение 1 кг расплава, они располагаются в следующей последовательности: электродуговые печи, вагранки, ванны печи.

Стеклоплавильная вата. Составы стекол для производства стекловаты изменяются в достаточно широких пределах. Выбор состава зависит от способов формования волокна. При формовании штапельного волокна требуются стекла с низкими показателями при температуре формования от 1 до $7 \cdot 10^3$ Па·с. Вязкость регулируется температурой выработки либо подбором составов «длинных» стекол.

При формовании волокна способами раздува используются стекла с вязкостью около 4 Па·с, что достигается высокими температурами выработки – до $1400^\circ C$.

При выработке стекла центробежными способами к выработочным характеристикам стекла не предъявляются высокие требования, поэтому может использоваться бой стекла.

При получении волокна комбинированными способами рабочая температура составляет $1050\text{--}1070^\circ C$, поэтому требуется «длинное» стекло. Используются стекла с содержанием оксидов щелочных металлов до 20%. В состав может входить также оксид бора. Рекомендуемый состав стекла включает, мас. %: SiO_2 – 63, Al_2O_3 – 3, MgO – 3, CaO – 7,5, Na_2O – 15, K_2O – до 2,8, B_2O_3 – 5,6.

Для производства волокна используются традиционные сырьевые материалы – кварцевый песок, доломит, мел, полевой шпат, стеклобой, бура, сода кальцинированная.

Варка стекла производится в печах различного типа – регенеративных, рекуперативных, электрических.

Выработка штапельного волокна. Штапельное волокно получают за счет разделения струи расплава, вытекающей из печи, на тончайшие струи и их вытягивания в волокна. Применяется три основных способа получения штапельного волокна:

- 1) дутьевой;
- 2) центробежный;
- 3) комбинированный.

Дутьевой способ основан на воздействии энергоносителя (пара, горячих газов), движущегося с большой скоростью (400–800 м/с), на струю (струи) расплава. Энергоноситель расщепляет струю расплава и вытягивает образовавшиеся элементы в волокна.

По направлению струи энергоносителя дутьевой способ подразделяют на горизонтальный и вертикальный. При горизонтальном способе струя энергоносителя направлена на струю расплава под углом 15–20° к горизонту, а при вертикальном – под углом 10–11° к вертикали с двух сторон струи расплава. Горизонтальный дутьевой способ не обеспечивает получения высококачественной минеральной ваты, так как при его применении образуется много неволокнистых включений (корольков) – до 40%, а волокна имеют большой разброс по диаметру (15–23 мкм).

При вертикальном раздуве с помощью фильер расплав разделяют на более тонкие струи (не более 2 мм), чем при горизонтальном, что существенно облегчает волокнообразование. Этот способ широко применяют при получении стеклянной ваты.

При вертикальном раздуве паром (ВРП) или вертикальном раздуве воздухом (ВРВ) расплав подается через фильеры фильерного питателя (до 30 фильер) и разделяется на тонкие струи (до 2 мм). Используется перегретый пар с температурой 250–300°С при давлении около 7 атм (рис.1).

При данном способе получают волокна диаметром 8–10 мкм с содержанием неволокнистых включений 3–5%.

Для получения ультратонкого и супертонкого волокон (диаметр – менее 1–3 мкм) используют способ раздува первичных волокон горячими газами. При этом с помощью двух валиков вытягивается грубое волокно толщиной свыше 40 мкм.

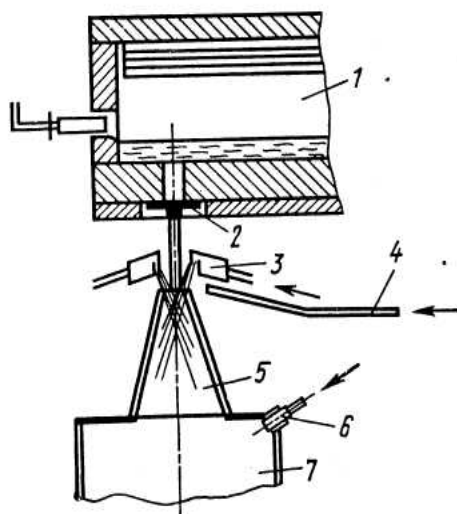


Рис. 1. Узел раздува расплава при фильерном вертикально-дутьевом способе получения волокна:

1 – фидер; 2 – фильерный питатель; 3 – дутьевое устройство; 4 – устройство для подачи обеспыливающего вещества; 5 – диффузор; 6 – форсунка для подачи связующего вещества; 7 – шахта камеры волокноосаждения

Первичные волокна направляются в поток раскаленных газов (температура газов – не менее 1650°C , скорость – 300 м/с). Под влиянием высокой температуры и кинетической энергии газового потока первичные волокна изгибаются под углами 90° . После изгиба направление движения первичных волокон совпадает с потоком газов, волокна размягчаются и вытягиваются, образуя очень тонкие вторичные волокна небольшой длины.

Центробежный способ основан на использовании центробежной силы вращающихся элементов центрифуг, на которые подается расплав. При производстве минеральной ваты используют центробежные установки различных конструкций, отличающиеся между собой количеством вращающихся органов, их формой и расположением в пространстве. Центробежные установки могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми. По форме рабочего органа центрифуги могут быть дисковыми, чашечными и валковыми, а по расположению плоскости вращения – горизонтальными и вертикальными.

Наибольшее распространение в мировой практике получил центробежно-валковый способ. В этом случае рабочим органом являются последовательно расположенные валки, вращающиеся вокруг

горизонтальных осей (рис. 2). Рабочей частью валков является боковая поверхность.

Расплав с температурой около 1400°C стекает через лоток на верхний распределительный валок, попадая в строго определенную точку его поверхности, находящуюся под углом $30\text{--}40^{\circ}$ к горизонтальной плоскости. Затем расплав последовательно обрабатывается всеми валками, окружная скорость которых увеличивается по мере удаления валков от места поступления расплава.

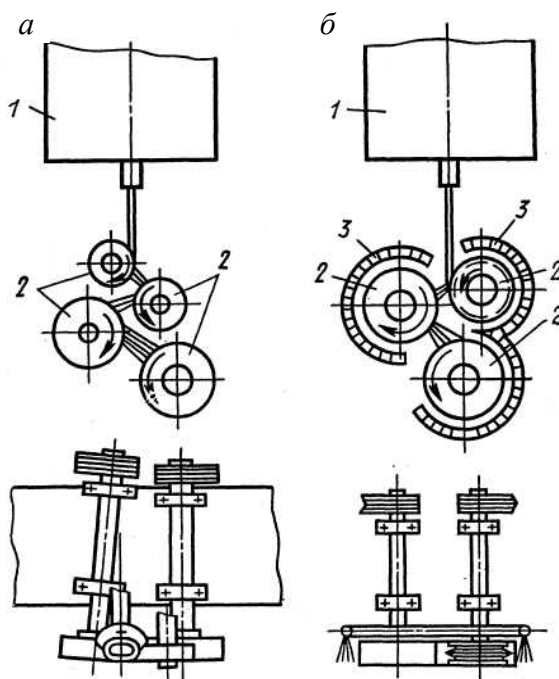


Рис. 2. Схемы многовалковых центрифуг:

a – четырехвалковая; *б* – трехвалковая;

1 – вагранка; *2* – вращающиеся валки; *3* – дутьевые устройства

Важным параметром, влияющим на качество минеральной ваты (на диаметр волокон), является окружная скорость валков. По мере прохождения через валки расплав остывает, его вязкость возрастает, и для вытягивания отдельных струек в волокна требуется больше энергии, поэтому необходимо увеличивать окружную скорость. Этого достигают за счет увеличения диаметра валков. Процесс волокнообразования может идти только в случае прилипания расплава к поверхности валков, которое обеспечивается при нагревании валков до $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ и увеличивается с повышением их температуры.

Диаметр волокон может составлять $5\text{--}15$ мкм, количество неволокнистых включений – $5\text{--}16\%$.

Нормальная работа многовалковых центрифуг обеспечивается при подаче расплава с температурой 1360–1380°C. Промышленные центрифуги имеют следующие параметры: частота вращения – 3000–6000 мин⁻¹, диаметры валков – 150–380 мм, производительность – 1700–3500 кг/ч.

Комбинированные способы основаны на использовании как центробежной силы, так и кинетической энергии пара или газа. В промышленности наиболее широкое применение получили центробежно-дутьевой и центробежно-фильтрно-дутьевой способы.

Центробежно-дутьевой способ (ЦДС) предусматривает превращение струи расплава в пленку и струйки с помощью вращающейся чаши и последующее вытягивание струек в волокна под воздействием энергоносителя. Расплав по лотку стекает на внутреннюю часть боковой стенки раздаточной чаши, вращающейся с частотой вращения 1000–1200 мин⁻¹, распределяется по ее периметру и срывается с кромок чаши в виде пленки или струек. Последние попадают в поток энергоносителя, и под совместным воздействием центробежной и аэродинамической сил образуются волокна. Энергоноситель (пар, горячие газы) с большой скоростью истекает из отверстий диаметром 2–4 мм,

расположенных на дутьевом кольце. Центрифуги такой конструкции работают устойчиво при следующих параметрах: температура расплава – 1300–1350°C, количество расплава – 1500–2500 кг/ч, давление энергоносителя в дутьевом кольце – 0,4–0,8 МПа.

Центробежно-фильтрно-дутьевой способ наряду с центробежной силой дополнительно использует растяжение волокон в газовом потоке. Это так называемый TEL-метод разработан фирмой Сент-Гобен. Это самый эффективный метод получения тонкого штапельного стекловолокна (диаметр – менее 10 мкм). Схема установки приведена на рис. 3.

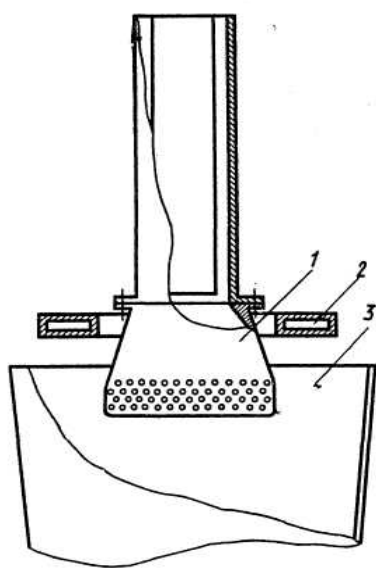


Рис. 3. Схема установки:
1 – распределительная корзина;
2 – кольцевое сопло; 3 – камера
волокноосаждения

Струя расплава через полый шпиндель поступает в чашу (распределительную корзину), вращающуюся с частотой до 3000 мин⁻¹. В нижней рабочей зоне чаша имеет перфорацию (от 2000 до 6000

отверстий), выполненную в несколько рядов. Диаметр отверстий может составлять от 0,2 до 2 мм. Изменение диаметра отверстий позволяет направленно формировать толщину струек расплава, которые выбрасываются из чаши через перфорацию под действием центробежной силы.

Распределительная корзина изготавливается из платины, массорасбрызгивающее кольцо – из жаростойкой стали. Температура кольца регулируется индукционным нагревом, что обеспечивает постоянную вязкость пленки стекла.

Чаша окружена кольцевым соплом, из которого со скоростью до 30 м/с и выше истекают горячие газы с температурой 1040–1050°C. Под совместным воздействием центробежной силы и газового потока струйки расплава вытягиваются в волокна и поступают в камеру волокноосаждения.

Этот способ позволяет получать практически бескорольковую вату с диаметром волокон до 10 мкм. Вследствие двухступенчатого режима формования для TEL-метод используется «длинное», устойчивое к кристаллизации стекло.

Производительность TEL-машины составляет 20–30 т/сутки, при этой к стекловаренной печи может присоединяться до 4 машин.

Получение стекловолокнистых изделий. Формирование минераловатного (стекловатного) ковра осуществляется в камерах волокноосаждения, которые представляют собой металлический каркас, обшитый листовой сталью с тепловой изоляцией.

Волокно осаждается на сетчатый или пластинчатый конвейер. Осаждению способствует отсос воздуха из камеры под конвейером. Разрежение в камере (30–50 Па) предотвращает запыление в цехе. Для обеспыливания в камеру может подаваться замасливатель (1% от массы волокна).

На волокно подается связующее методом пульверизации через форсунку. Чаще всего это фенолформальдегидные смолы, в которые вводятся добавки для улучшения кроющей способности, снижения хрупкости. Концентрация смолы в связующем составляет до 24%. Могут использоваться карбамидные смолы, однако они менее водостойки. Для закрепления волокон в местах их контакта должны быть образованы клеящие соединения. От качества и количества этих соединений зависят теплоизоляционные свойства изделий.

После введения связующего происходит уплотнение ковра. Далее производится тепловая обработка при температуре от 130 до 250°C (температура зависит от вида связующего). При этом происходит уда-

ление влаги и отверждение связующего. Время термической обработки – от 3 до 18 мин.

Далее происходит охлаждение ковра на открытом конвейере, раскрой и упаковка. Минераловатные плиты маркируются по плотности, выраженной в $\text{кг}/\text{м}^3$. Выпускаются плиты марок 75, 125, 175, 225. От плотности зависит теплопроводность изделий, которая составляет от 0,047 до 0,054 $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$.

2. Композиционные материалы на основе стекловолокна

2.1. Использование стекловолокна в композиционных материалах

Композиционные материалы (КМ) образуются при объемном сочетании химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними, при этом химическое взаимодействие между компонентами отсутствует. КМ обладают свойствами, которыми не могут обладать каждый из компонентов в отдельности.

Один из компонентов, обладающих непрерывностью по всему объему, является матрицей. Наполнитель – прерывистый компонент, считается усиливающим или армирующим. Наполнителями являются порошкообразные частицы (микрошарики) или волокнистые материалы (волокна, нити, ленты, сетки, ткани). Волокно и материалы на его основе используются в качестве армирующего компонента в производстве стеклопластиков и при получении стеклофибробетона.

В зависимости от ориентации волокон выделяют следующие группы КМ:

1) ориентированные, которые делятся на однонаправленные (в качестве армирующего материала используются нити) и со сложной схемой армирования (в качестве армирующего материала используются ленты, ткани);

2) хаотически армированные – в качестве армирующего материала используются рубленая и непрерывная нити.

Наибольшую прочность и жесткость однонаправленные КМ имеют вдоль направления волокон. На рис. 4 представлены диаграммы растяжения волокон, матрицы и однонаправленного композиционного материала.

Прочность композиционного материала при растяжении определяется выражением:

$$\sigma^{\text{KM}} = \sigma^{\text{M}} (1 - V^{\text{B}}) \sigma^{\text{B}} + V^{\text{B}} \sigma^{\text{B}},$$

где σ^{KM} – предел прочности при растяжении композиционного материала; σ^{M} – предел прочности при растяжении матрицы; V^{B} – объемная доля волокна; σ^{B} – предел прочности при растяжении волокна.

Зависимости прочности КМ от объемной концентрации волокон представлены на рис. 5.

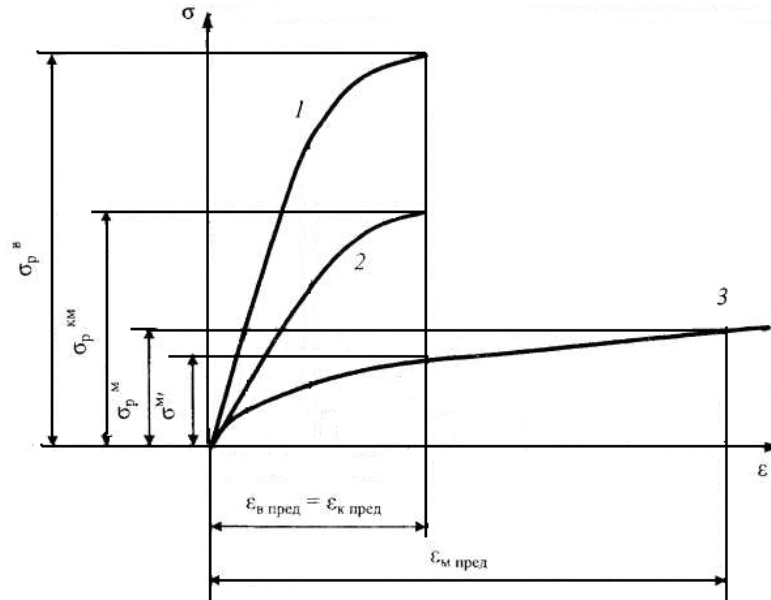


Рис. 4. Диаграмма растяжения волокон (1), однонаправленного композиционного материала (2) и матрицы (3)

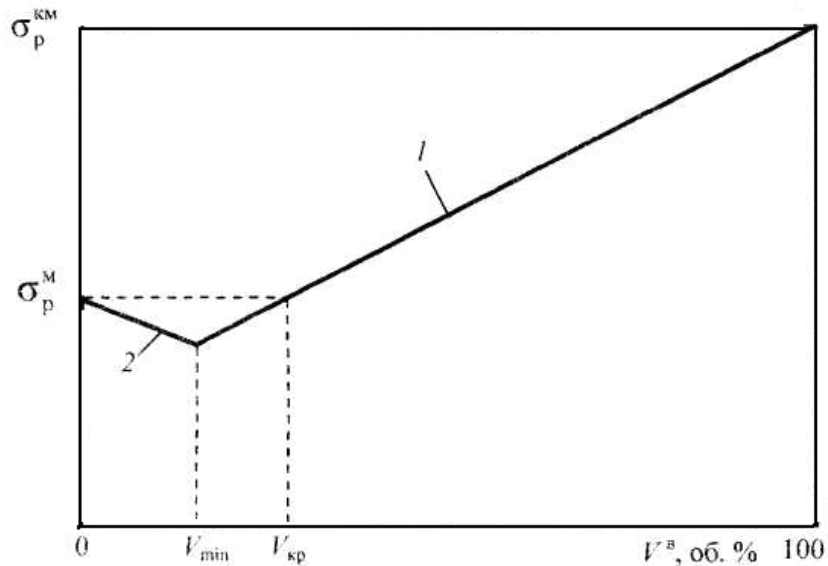


Рис. 5. Зависимость прочности однонаправленно армированных КМ от объемной концентрации волокон

Если $V^B < V_{\min}$, прочность композиции уменьшается пропорционально увеличению объемной доли волокон, а при $V^B > V_{\min}$ возрастает. При малых значениях V^B прочность КМ ниже, чем прочность неармированной матрицы, поскольку введение волокон равносильно введению нитевидных пор. По мере увеличения объемной доли волокна прочность КМ возрастает, однако при V^B больше 0,7 появляются трещины и расслоения, поэтому это верхняя граница содержания волокна.

На прочность композитов влияют дефекты микроструктуры (поры, микротрещины, расслоения, полости).

2.2. Стеклопластики

Свойства стеклопластиков. Стеклопластики сочетают высокую прочность с относительно небольшой плотностью. Они используются в качестве конструкционных материалов.

По основным свойствам стеклопластики делят на высокопрочные, коррозионностойкие, электроизоляционные, теплозащитные.

При получении стеклопластиков используются следующие виды связующих:

1) термопластичные – для них возможны обратимые переходы жидкость – твердое при нагреве – охлаждении;

2) термореактивные (олигомеры) – под действием тепла, катализаторов необратимо переходят в твердое состояние (смолы, например эпоксидные).

Предел прочности при растяжении однонаправленного стеклопластика в направлении волокна зависит от вида волокна и составляет:

– 1600 МПа – при использовании волокна типа «Е»;

– 2100 МПа – при использовании волокна типа «S».

В направлении, перпендикулярном осям волокон, предел прочности при растяжении зависит от свойств связующего и составляет 20–40 МПа.

Прочность неориентированных стеклопластиков не зависит от направления измерения и составляет 150–160 МПа. Как видим, прочность таких стеклопластиков существенно ниже, чем у ориентированных, однако они гораздо дешевле.

Для большинства композитов параметры прочности изменяются пропорционально объемной доле волокон. Практика показала, что, исключая очень низкое объемное содержание волокон, матрица на прочность КМ влияет мало. Верхний предел прочности композита оп-

ределяется в основном максимальной объемной долей волокна, которой можно достичь без потери целостности матричной фазы. Она редко превышает 65–70%.

Прочность при растяжении композитов, содержащих однонаправленные дискретные волокна, зависит от относительных величин средней длины волокна, при этом критическая длина волокна может составлять 50 диаметров волокна. Композиты, содержащие волокна гораздо большей длины, обладают прочностью, приближающейся к прочности соответствующего материала, армированного непрерывными волокнами. По мере уменьшения длины волокон эффективность упрочнения падает до тех пор, пока длина волокон не станет меньше критической, и разрушение контролируется вытягиванием волокон. Дискретные волокна всегда упрочняют КМ слабее, чем непрерывные.

Плохая соосность волокон существенно снижает эффективность упрочнения КМ, армированных дискретными волокнами. На практике для однонаправленных дискретно армированных КМ эффективность упрочнения составляет 50–70%.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на прочность композитов, армированных как непрерывными, так и дискретными волокнами, являются дефекты микроструктуры – поры, микротрещины, расслоения, полости и др. В КМ на основе полимерных матриц малая объемная доля полостей влияет в большей степени на прочностные свойства, которые зависят от целостности, обеспечиваемой матрицей. На практике при изготовлении армированных пластиков можно ограничить пористость до 5%, а с помощью специальных методов, используемых при изготовлении элементов специальных конструкций, удастся снизить ее до 0,5%.

Технологические стадии получения изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

1. Подготовка армирующего материала (удаление замасливателя, обработка аппретами, которые повышают прочностные связи волокон со связующим, снижают водопоглощение ПКМ).

2. Приготовление связующего – компаунда, который включает:

- основной компонент (смола);
- отвердители;
- катализаторы;
- пластификатор;
- пигмент;
- растворитель.

Основной характеристикой компаунда является жизнеспособность – сохранение в течение определенного времени технологической вязкости в заданных пределах.

3. Пропитка – нанесение компаунда на поверхность армирующего материала и заполнение им объема между волокнами.

Изделия из ПМК получают двумя способами:

1) мокрым – волокна пропитываются жидким связующим непосредственно перед намоткой, т. е. пропитка совмещена с формированием изделия.

2) сухим – пропитка выделяется в самостоятельную операцию. Из армирующего материала получают препреги – нити, ленты, ткани, которые после пропитки подсушены и частично отверждены. Прием используют при формировании изделий сложной формы.

Методы пропитки:

- протягивание арматуры сквозь жидкое связующее;
- пропитка купающимся роликом;
- принудительная (вакуумная, гидравлическая – прокачивание жидкого связующего через арматуру).

4. Формование изделий производится следующими основными способами:

1) прессование из предварительно пропитанных нитей или ткани.

При прессовании листовых материалов собирают пакеты и уплотняют на прессах при давлении до 15 МПа (стеклотекстолит).

Получают также изделия сложной конфигурации (лопатки, панели). Температура и время прессования изделий зависят от вида связующего;

2) контактное формование (ручное изготовление).

Проводится в следующей последовательности: на матрицу (гелькоут) укладывается стеклоткань, проводится пропитка связующим с помощью валика. Таким образом изготавливаются корпуса лодок, катеров, кузова автомобилей и т. п.;

3) напыление – осуществляется с помощью распылительного пистолета. Напыляется в матрице полимерная смола одновременно с рубленым ровингом.

Используется при производстве крупных изделий из стеклопластика (корпуса катеров, лодок, яхт, кабины автотранспорта);

4) инъекция смолы в закрытую форму.

В качестве оснастки используются матрица и контрматрица. Между ними укладываются стеклоткань, стекломат, затем подается под

давлением смесь полиэфирная смола – отвердитель. Способ используется при изготовлении крупных партий изделий;

5) метод намотки – пропитанная связующим арматура наматывается на оправку. Применяется для изготовления изделий, имеющих форму тел вращения, например труб;

б) пултрузия – вытягивание стеклопластиковых профилей через нагретую до 150°C фильеру стекловолоконистых материалов, пропитанных связующим. Применяется при изготовлении оконного профиля, ограждающих и несущих конструкций;

7) отверждение. В процессе отверждения связующего создается конечная структура КМ, формируются его свойства и фиксируется форма изделий.

Технологические характеристики процесса отверждения:

а) точка гелеобразования – связующее утрачивает текучесть (утрачиваются технологические качества);

б) температура стеклования (интервал – 10–20°C) – вязкость соответствует вязкости твердого тела;

в) температура деструкции, при которой начинается разложение полимера (разрыв молекулярных связей). Устойчивость к деструкции – показатель термостабильности связующего.

Реакция отверждения (полимеризация) может протекать до конца (нет реакционноспособных групп) только в случае, если температура отверждения выше температуры стеклования.

В отвержденном КМ возникают следующие напряжения:

а) структурные – вызываются натяжением арматуры при намотке;

б) усадочные – возникают в волокнах и связующем из-за усадки при отверждении КМ, которая составляет от 2 до 30%. Они могут привести к растрескиванию изделия;

в) термические – связаны с разностью температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) арматуры и связующего ($\alpha_{св} \gg \alpha_{вол}$).

Все напряжения суммируются. Со временем они релаксируют, потому нагрев и охлаждение изделий следует производить с малой скоростью.

2.3. Стеклофибробетон

Стеклофибробетон (СФБ) – это армированный волокнами бетон.

При его получении используются щелочестойкие волокна, волокна из стекла типа Е, базальтовые волокна. В состав стеклофибробетона входят цемент, кварцевый песок, щелочестойкое волокно, вода.

В процессе твердения СФБ происходит взаимодействие матрицы с волокном. рН матрицы – 12–13. Следовательно, происходит растворение стекла, которое замедляется по мере твердения бетона. Поэтому оптимальным является использование щелочестойких стекол.

СФБ – облицовочный материал, из него могут быть изготовлены изделия слоистой структуры.

Способы изготовления изделий:

- 1) предварительное смешение компонентов (используется рубленый ровинг, штапельное волокно) и укладка смеси в форму;
- 2) контактное формование;
- 3) пневмонабрызг компонентов на форму;
- 4) намотка (применяется при изготовлении изделий, имеющих форму тел вращения, – трубы, колонны);
- 5) виброэкструзия (базальтоцемент);
- 6) центрифугирование;
- 7) вибропогружение волокна.

СФБ – это прежде всего очень привлекательный по своему внешнему виду и долговечный облицовочный материал. Из него могут быть изготовлены изделия самой разнообразной формы и профиля, включая наиболее сложные.

СФБ идеально подходит для изготовления легких сборных панелей для наружной обшивки стен современных зданий. Преимуществом СФБ-панелей является их малый вес, что дает ощутимую экономию на транспортных расходах, погрузочно-разгрузочных операциях и при монтаже. Другими явными преимуществами стеклофибробетона являются его долговечность, стойкость к химическому воздействию, негорючесть и высокие звуко- и теплоизоляционные свойства.

Армирование волокном увеличивает прочность на изгиб (в сравнении с железобетоном) в 4–5 раз, на растяжение – в 3–4 раза, ударная прочность возрастает в 15–20 раз. Более высокие показатели достигаются при направленном армировании. При армировании волокном снижается материалоемкость изделий, облегчается конструкция.

Высокие прочностные и эксплуатационные показатели СФБ, пластичность материала обеспечили ему широкое применение в сборно-монолитном жилищном и других видах строительства. Использование СФБ-конструкций позволяет создать качественно новый уровень фасадов зданий.

Область применения СФБ-конструкций достаточно обширна, особенно эффективны тонкостенные плиты, комплексные облегченные стеновые панели с эффективными типами утеплителей, изделия

и сооружения с пространственным конструктивным решением, в том числе элементы малых архитектурных форм, конструкции оформления фасадов, входов в здания и т. д.

Формование СФБ-конструкций позволяет получать различные пространственные формы: с глубокими выемками, большими проемами криволинейного очертания, рельефом и т. п. Кроме того, способность СФБ точно копировать форму опалубки обуславливает получение точных копий изделий со сложным рельефом и архитектурным орнаментом, что позволило широко использовать СФБ при реставрации исторических зданий.

3. Технология эмалирования металлов

3.1. Эмали и защитные покрытия

Классификация эмалей. *Эмаль* – стекловидный материал, который предназначен для получения покрытий по металлу.

Основой эмалей являются щелочноалюмоборосиликатные стекла. Добавки других компонентов придают им требуемые свойства.

Эмали можно классифицировать по следующим показателям.

По структуре эмали делятся на стекловидные и стеклокристаллические.

По основным функциям эмали подразделяются на грунтовые, покровные, безгрунтовые, бортовые и декоративные.

Грунтовая эмаль (грунт) представляет собой промежуточный слой между металлом и покровной эмалью, обеспечивающий прочное соединение этих различных по своей природе материалов. Грунт также изолирует покровную эмаль от непосредственного воздействия на нее металла в процессе обжига. Для прочного сцепления с металлом в грунты вводят оксиды сцепления. Чаще всего применяют оксиды кобальта и никеля, причем более активным является CoO , поэтому его вводят в количестве 0,2–1 мас. %, а оксида никеля – до 2 мас. %.

Грунт должен удовлетворять следующим требованиям: иметь температурный коэффициент линейного расширения близкий, но несколько меньший, чем у металла; хорошо смачивать металл; поверхностное натяжение грунта должно отличаться от такового для покровной эмали с целью предотвращения явления динактивности – взаимного проникновения расплавов этих слоев; оптимальная вязкость при обжиге должна находиться в пределах 10^2 – 10^3 Па·с; иметь

широкий интервал обжига и не кристаллизоваться при многократных обжигах.

Значения свойств определяются химическим составом грунтов, основным компонентом которых является кремнезем (35–60 мас. %). Для повышения температурного коэффициента линейного расширения и легкоплавкости в грунты вводят значительное количество щелочных оксидов (15–20%), преимущественно Na_2O или K_2O . Для снижения температуры плавления, улучшения смачиваемости и растекаемости расплавов в состав грунтов вводят борный ангидрид в количестве до 25%, который уменьшает вязкость и особенно поверхностное натяжение.

Покровные эмали наносятся на слой грунтовой эмали и обеспечивают требуемые потребительские и декоративные свойства покрытия. Для внутреннего покрытия чаще применяют белые (глушеные) эмали, для наружного – как белые, так и цветные.

Глушение покровной эмали происходит за счет преломления, отражения и дифракции света на частицах глушителя. Глушение достигается главным образом за счет кристаллизации при введении в шихту глушителей – соединений, которые хорошо растворяются в расплаве при варке стекла и кристаллизуются при обжиге покрытия (TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , соединения фтора, Sb_2O_5). Глушение усиливается с увеличением разности показателей преломления глушителя и эмали. Оптимальный размер частиц глушителя составляет 0,2–1 мкм. При обжиге наиболее распространенных титансодержащих эмалей выделяются кристаллы анатаза, при этом формируется мелкокристаллическая структура. В случае кристаллизации рутила выделяются крупные кристаллы желтоватого цвета и происходит окрашивание покрытия. Наилучшее глушение эмали, которое оценивается показателями белизны, обеспечивается при совместном введении TiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 .

Промышленные составы эмалей часто содержат соединения фтора: плавленый шпат CaF_2 , криолит Na_3AlF_6 , кремнефторид натрия Na_2SiF_6 . В этом случае при обжиге эмалей выделяются NaF , AlF_3 . Фториды обладают слабым глушащим действием, поэтому вводятся в комбинации с другими глушителями. Из-за отрицательного влияния фтористых соединений на окружающую среду разрабатываются бесфтористые эмали.

Основой для получения эмалей является система $\text{R}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Остальные оксиды в составе эмалей служат для улучшения их свойств. Составы эмалей включают, мас. %: SiO_2 – 37–50, B_2O_3 – 10–20, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ – 12–20, Al_2O_3 – 2–12. Содержание TiO_2 в бе-

лой эмали составляет 12–20 мас. %. Уникальным по своему влиянию на свойства стеклопокрытий является оксид бора. Он повышает смачивающую способность расплава, снижает вязкость, поверхностное натяжение, что обеспечивает хорошую растекаемость покрытия.

Безгрунтовые эмали делятся на цветные и белые. Цветные получают на основе смесей грунтов и покровных эмалей и при синтезе специальных составов, содержащих активаторы сцепления, которые интенсивно окрашивают эти эмали. Белые безгрунтовые эмали либо содержат в качестве активаторов сцепления соединения молибдена, олова и мышьяка, либо наносятся на никелевый подслоя, получаемый электрохимическим или химическим осаждением на стальной подложке. Наибольшее распространение эмали этого типа получили в производстве бытовой техники, архитектурно-строительных деталей и внедряются для покрытия труб, теплообменников и т. п. В связи с этим они должны быть химически стойкими и термостойкими.

Декоративные эмали служат для нанесения рисунков, узоров, надписей на эмалированные изделия. Это эмали с температурой обжига 500–800°C, состоящие из легкоплавкой, чаще свинецсодержащей или титановой фритты и окрашивающих пигментов.

По области применения эмали классифицируются на эмали для посуды и бытовой техники, санитарно-технических и архитектурно-строительных изделий, химической и нагревательной аппаратуры, изделий медицинского и фармацевтического назначения; для защиты деталей двигателей внутреннего сгорания; для микроэлектроники и электротехники; для временной защиты заготовок в металлургии и машиностроении; для изготовления ювелирных изделий и др.

По составу защищаемого металла эмали предназначаются для черных металлов (малоуглеродистые и легированные стали и сплавы, чугун), легких металлов (алюминий, титан, магний, ниобий и их сплавы), цветных и благородных металлов (медь, серебро, золото, платина и их сплавы).

По способам нанесения подразделяют: эмали для шликерного и пудрового нанесения; эмали для нанесения в полях высоких напряжений электростатическим, электрофоретическим способом.

В последнее время появилась классификация коммерческих эмалевых полуфабрикатов, учитывающая степень их готовности к использованию: Ready and Easy (готовые и легкие для применения), Ready to Use (готовые к применению), Ready to Mill (готовые к измельчению). Это связано с тем, что крупнейшие зарубежные фирмы-изготовители эмалевых фритт и порошков из них, такие как Ferro, Pemko, Wendell,

поставляют смеси, не раскрывая составов фритт, мельничных добавок, в том числе пигментов, и способов их приготовления.

Традиционная технология нанесения эмалевых покрытий включает нанесение и обжиг грунтовой эмали, нанесение покровной эмали на обожженный слой грунта и ее обжиг (2 слоя/2 обжига). Толщина слоев составляет до 0,2 мм. Вязкость при температуре обжига, поверхностное натяжение, температура размягчения покровных эмалей должны быть ниже, чем у грунтовых.

Возможно нанесение на слой порошка грунта покровной эмали с однократным обжигом (2 слоя/1 обжиг). При этом толщина грунтового слоя должна быть не более 0,08 мм, покровной эмали – 0,1 мм, что возможно при более тонком помоле фритты (размер частиц – не более 40 мкм). При однократном обжиге двух слоев грунтовая эмаль должна быть более легкоплавкой, чем покровная.

Технология варки эмали и оборудование. В зависимости от типа эмали, цвета, объема выпуска применяют печи различных типов и производительности.

Тигельные печи предназначены для варки большого ассортимента эмалей в небольших количествах и обеспечивают возможность быстрой смены составов. Производительность таких печей зависит от количества и емкости тиглей. Количество тиглей колеблется в пределах 1–10 шт., а емкость – от 0,2 до 500 л. Удельный расход тепла для печей на 2–4 тигля достигает 41 900–61 850 кДж/кг эмали, а коэффициент полезного действия составляет от 4 до 7%.

Ванные печи предназначены для непрерывной плавки эмалей, обычно грунтовых. По конструкции они сходны с малыми стекловаренными печами. Однако отсутствие полного осветления и дегазации, а также более низкая температура варки позволяют упростить конструкцию печей этого типа. Ванная печь для варки эмали представляет собой удлиненный, мелкий бассейн с наклонным подом, имеющий с одной стороны загрузочное приспособление, а с другой – отверстие для выпуска расплава эмали. Слой расплава толщиной в среднем около 0,1 м находится в движении, непрерывно перемещаясь от места загрузки к месту выпуска расплава. Малая толщина слоя расплава обеспечивает его равномерное движение. Непрерывный выпуск эмали тонкой струей обеспечивается установкой специальных горелок, обогревающих выпускной лоток и струю расплава.

Ванные печи могут обогреваться всеми видами топлива, но наиболее производительными являются электрические печи или печи смешанного газозлектрического типа. Удельный расход энергии для

электрической ванной печи составляет 3,5–4,5 МДж/кг фритты. В электрических ваннах печах в качестве нагревательных элементов применяют электроды, изготовленные из молибдена или из диоксида олова и сплавов железа с хромом. Расплавленная эмаль представляет собой электрический проводник, сопротивление которого уменьшается с ростом температуры. Слой шихты защищает расплав от потерь тепла и снижает угар компонентов.

Вращающиеся печи наиболее часто используются в эмалеварении. Они бывают периодического действия, пламенные. Цикл работы включает периоды разогрева печи после выпуска эмалевого расплава, засыпки шихты, варки и выпуска расплава. Длительность цикла зависит от состава шихты, емкости печи, температуры варки и составляет от 1 до 4 ч. Максимальные температуры, достигаемые во вращающейся печи, составляют 1250–1450°C.

В качестве огнеупора во вращающейся печи используются высоко-глиноземистые муллитовые, муллитокорундовые, корундовые, электроплавленные бадделеито-корундовые изделия. При футеровке следует использовать раствор, близкий по составу к огнеупору. Толщина футеровки колеблется от 100 до 200 мм. С целью уменьшения потерь тепла через кладку часто между барабаном и огнеупором помещают слой асбеста.

Подготовленную для варки шихту в контейнере-смесителе краном подают на загрузочную площадку, расположенную над приемным бункером печи. Из печи должна быть слита вся ранее выплавленная эмаль. Печь должна быть прогрета до 1200°C и установлена загрузочным отверстием в верхнее положение. Затем открывают выгрузной люк контейнера, и шихта самотеком через воронку поступает в печь. При этом прекращается подача газа и воздуха в печь во избежание выноса компонентов шихты. После загрузки шихты через 15 мин печь поворачивают на 90° и затем переводят на непрерывное вращение со средней скоростью 0,1–0,5 об/мин, продолжив при этом прерванную подачу газа и воздуха.

В процессе варки печь периодически останавливают в разных положениях для стекания со стенок более жидкого расплава и прогрева слоя эмали, прилегающей к футеровке печи. Максимальная температура варки должна достигаться за 20–30 мин до ее окончания.

Передача тепла шихте и расплаву во вращающейся печи осуществляется: излучением от пламени факела; от нагретых газов и от внутренней поверхности футеровки, не закрытой шихтой и расплавом; те-

плопроводностью от футеровки, находящейся в соприкосновении с шихтой или расплавом.

Удельный расход тепла на варку зависит от температуры и состава эмали и составляет от 65 000 до 150 000 кДж/кг фритты.

Грануляцию расплава осуществляют несколькими методами: в воде, струей воды и на воздухе.

Грануляция в воде состоит в том, что расплав тонкой струей выпускают в бак с холодной водой, в двойном дне которого имеются мелкие отверстия для спуска воды, задерживающие гранулы. Емкость бака должна в 4–5 раз превышать объем гранулируемого расплава. Грануляция производится при постоянном притоке холодной воды.

Грануляция водяной струей отличается тем, что на выпускаемую в воду струю расплава направляют почти под прямым углом струю воды. При этом способе происходит резкое охлаждение расплава и получают более мелкие, равномерные гранулы, что сокращает время помола фритты на 2–3 ч.

Гранулы сушат в сушилах разнообразных конструкций, начиная от самых примитивных периодического действия до непрерывно действующих барабанного типа большой производительности, в которых сухой, горячий, очищенный от пыли воздух подается навстречу поступающим гранулам. Сушильные устройства изготавливают из нержавеющей стали и футеруют керамическими плитками.

Воздушная грануляция заключается в прокате струи эмалевого расплава, вытекающей из печи и проходящей между двумя охлаждаемыми изнутри проточной водой стальными, слегка рифлеными валками. При этом получают ленту из эмали толщиной около 0,8 мм и шириной 0,50–0,60 м. Эмалевая лента падает на вибрирующий, охлаждаемый водой транспортер из нержавеющей стали и разбивается на пластинки размером 20×20 мм или крупнее. Основное преимущество проката заключается в том, что не требуется энергоемкой операции сушки фритты, а также не происходит выщелачивание при подаче на расплав эмали охлаждающей воды.

Получение эмалевых шликеров и порошков. Эмалевые покрытия наносят на поверхность металлических изделий в виде равномерного слоя определенной толщины. Этот слой после обжига должен обладать комплексом свойств, гарантирующих качество готового изделия: оптимальной толщиной и минимальной разнотолщинностью или ее отсутствием, сплошностью, прочностью и эстетико-потребительскими свойствами (белизной или цветностью, блеском и т. д.). Существуют различные способы нанесения слоя покрытия.

При сухих способах фритта наносится в сухом порошкообразном состоянии (опудривание, электростатический метод), при мокрых – в виде шликера. Независимо от способа нанесения на металл измельченная эмаль должна представлять собой тонкодисперсный порошок.

Подготовка фритты для эмалирования состоит в ее измельчении с целью достижения определенного гранулометрического состава распределения зерен по крупности.

Измельчение фритты для получения эмалевого порошка осуществляется в различных мельницах и других мелющих устройствах с добавками или без них. Для производственных целей применяют главным образом барабанные мельницы с объемом барабана от 0,25 до 5 м³. Мельницы футеруют кирпичами из кварцита, твердого фарфора или стеатита. Практикой установлено, что оптимальное соотношение измельчаемого материала (фритты) и мелющих тел должно быть от 1:1,3 до 1:1,5.

Для электростатического нанесения необходимы порошки с размером зерен 3–60 мкм. Их приготовление осуществляют помолом фритт в двухкамерных вибромельницах с футеровкой и мелющими телами из твердого фарфора, уранита или корунда. Для нанесения покрытий в электростатическом поле высокого напряжения необходимо, чтобы частицы эмали обладали удельным электрическим сопротивлением $\rho > 10^{11}$ Ом·м. Поскольку значения электросопротивления эмалевых фритт обычно не превышают 10^8 Ом·м, при их помоле одновременно производится обволакивание зерен эмали органическими гидрофобными пленками с удельным сопротивлением 10^{14} Ом·м. Эти пленки повышают также текучесть готового порошка и предотвращают его увлажнение при длительном хранении.

При мокром измельчении вместе с фриттой вводят и другие добавки, например глину или бентонит, кварц или полевой шпат (для грунтовых эмалей), глушители и пигменты, а также некоторые специальные добавки и воду; в отдельных случаях добавляют и неводные жидкости (например, изопропиловый спирт с толуолом). Соблюдение рецептуры обуславливает необходимость большой точности при хранении сырья и его взвешивании.

Шихты для отдельных эмалей, наносимых на стальной лист или чугуны, различны и приведены в соответствующих разделах, однако можно принять следующие нормы компонентов (мас. ч.) на 100 мас. ч. фритты:

– для шликера грунтовой эмали: вода – 40–50, глина – 5–10, сода и бура – 0,2–1,5, кварц – 10–30, иногда до 50 крупностью менее 0,2 мм, и/или полевой шпат – 5–20;

– для шликера покровной эмали: вода – 35–48, глина – 5–10, хлорид калия либо нитрат натрия – 0,2–1,5, глушители и пигменты согласно рецепту.

При мокром помоле в шаровых мельницах длительность измельчения составляет от 4 до 20 ч. Шликеры эмалей перед использованием на производстве выдерживают 12–48 ч, в течение которых устанавливается равновесие между растворенными солями и глиной. При этом происходит выщелачивание (выщелачиваются щелочи), а также в раствор может переходить небольшое количество борной кислоты. Этот процесс называется старением и имеет большое значение для улучшения рабочих свойств шликеров. Для каждого вида эмали в зависимости от принятого метода нанесения продолжительность старения шликера устанавливается практическим путем. Особое внимание при этом уделяется температуре хранения шликера, которая должна быть в пределах 17–22°C.

3.2. Технология эмалирования стальных изделий

Подготовка поверхности металла к эмалированию. На поверхности металлических изделий всегда имеются загрязнения: твердые оксидные или солевые образования (окалина, ржавчина и т. п.); органические пленки (масляные, жировые). Перед эмалированием металлические пластины подвергают специальной обработке для обезжиривания, удаления ржавчины или окислов. Подготовка поверхности – одно из условий образования бездефектного эмалевого покрытия.

Обезжиривание может проводиться двумя способами:

а) обезжиривающий (черновой) отжиг в течение 10–20 мин при температуре 650–800°C;

б) химическая обработка в растворе следующего состава: кальцинированная сода Na_2CO_3 (40 г/л), каустическая сода NaOH (50 г/л). Температура раствора – 90°C, выдержка при этой температуре – 6–10 мин.

Травление поверхности для удаления окислов после обезжиривающего отжига или ржавчины после химического обезжиривания. Травление осуществляется в растворе NaCl (100 г/л) и H_2SO_4 (100 г/л) при температуре 65°C в течение 6 мин. После химической обработки образец промывают в проточной воде.

Очистка поверхности от загрязнений и ржавчины может производиться также механическим способом – обработкой абразивным материалом. При этом поверхности придается шероховатость.

Нанесение эмалевых шликеров и порошков. Нанесение эмалевого покрытия может быть осуществлено мокрым и сухим способами. В первом случае на поверхность наносится технологическая суспензия – шликер, во втором – сухой порошок. Возможны следующие виды нанесения:

– при мокром эмалировании: окунание, облив, нанесение кистью или штапелем, пульверизация, электрофорез (электроосаждение), электростатическое нанесение;

– при сухом способе: опудривание, электростатическое нанесение, погружение в порошок.

Окунание. Эмалируемое изделие зажимают в специальном захвате и полностью погружают в емкость со шликером. Для гарантированного смачивания всей эмалируемой поверхности изделием манипулируют, не вынимая его из емкости. При его извлечении благодаря адгезии значительная часть шликера остается на изделии.

Основные недостатки этого способа – неравнотолщинность слоя и оголение кромочной части изделия, ограниченные возможности управления толщиной наносимого слоя, невозможность получения тонких слоев. Этот способ трудно поддается механизации.

Облив. Следует различать два вида нанесения эмалевого покрытия этим способом. Первый вид называют струйным обливом. Он заключается в том, что зафиксированное изделие (например, в захвате или на подставке, подвеске и т. п.) обливают последовательно по всей поверхности струей шликера. Таким образом эмалируют крупногабаритные изделия, в том числе не имеющие внутренних полостей.

Второй вид облива можно определить как *наливной*, и заключается он в том, что емкостное изделие (например, установленную вертикально трубу, аппарат) заполняют шликером и затем его выливают через нижнее отверстие. Особенно эффективен этот вид нанесения при заполнении шликером эмалируемого изделия под вакуумом.

Нанесение эмали обливом и окунанием относится к наиболее экономичным и универсальным способам, которые позволяют наносить покрытия любого типа и толщины при обязательном промежуточном обжиге, т. е. по технологии 2 слоя/2 обжига.

Пульверизация. Заключается в том, что эмалевый шликер наносят на поверхность изделия в виде тонкодисперсных капель, образуемых распылением шликера в специальных пневматических пистолетах-распылителях и направляемых на изделие в виде расходящегося под определенным углом факела. Процесс легко контролируется по времени, толщине наносимого слоя и по месту нанесения.

Пульверизацию выполняют в специальных камерах, оборудованных вытяжной аспирацией с пылесадительными устройствами. Это позволяет утилизировать значительную часть сухой массы шликера. Пульверизация эффективна для эмалирования больших и открытых поверхностей, изделий с большим радиусом кривизны (ванны, мойки, панели электро- и газовых плит, холодильников, емкостной аппаратуры и т. п.). Крупные изделия, в том числе и сложной конфигурации (например, ванны, раковины, мойки), эмалируют на стационарных установках, оборудованных роботами-манипуляторами.

Электрофорез применяется для получения однослойного покрытия непосредственно на металле. Механизм нанесения основан на возможности направленного перемещения твердой частицы фритты, находящейся в дисперсионной жидкости и несущей отрицательный заряд двойного электрического слоя, при наличии разности потенциалов между двумя электродами. Одним из электродов служит эмалируемое изделие (анод). Процесс ведут в ванне, заполненной шликером, в который погружают изделие и подключают к источнику постоянного напряжения 50–200 В. Нанесение завершается по достижении слоя заданной толщины. Осажденный слой действует как диафрагма и одновременно обезвоживается.

Электрофорез требует применения дорогостоящего оборудования, нетрадиционных методов повышенного технологического контроля. Однако он позволяет получать тонкие и высокоплотные слои с пониженным содержанием газовой фазы, отличающиеся повышенным гляncем. Особенно эффективно применение электрофореза в технологии 2 слоя/1 обжиг.

Электростатика. Способ широко применяется для эмалирования элементов газовых и электрических плит, холодильников, архитектурных панелей и т. п. В электростатическом поле можно наносить как шликер, так и сухой порошок.

При мокром электростатическом нанесении эмали отрицательно заряженные частицы эмалевого шликера, распыляемые специальными форсунками под давлением и приобретающие в режиме коронного разряда отрицательный заряд, движутся в поле высокого напряжения к детали, выполняющей функцию анода, и оседают на ее поверхности. При этом поверхности изделия достигает значительно большее количество частиц, чем при обычном распылении (пульверизации). Соответственно снижается расход материалов и повышается экономичность процесса. Для создания электрического поля необходимо приложить напряжение 80–120 кВ. При обжиге образуется плотное, с высоким гляncем

покрытие. Толщина обожженного слоя легко регулируется и может быть предельно минимальной.

Шликер распыляют в основном пневматическими распылительными пистолетами. Детали проходят через камеру распыления с постоянной скоростью.

Электростатическое нанесение эмалевого порошка применяют для безгрунтового белого и однослойного цветного эмалирования плоских изделий и особенно при технологии 2 слоя/1 обжиг. Тонкодисперсный порошок распыляют в режиме коронного разряда при напряжении 60–90 кВ и давлении сжатого воздуха 0,1–0,35 МПа (рис. 6).

Частицы эмали, диспергированные воздушным потоком и принимающие отрицательный заряд в силу наличия отрицательных ионов в объеме, под действием механических и электрических сил направляются к поверхности детали (анод).

Эмаль должна иметь высокое удельное поверхностное электрическое сопротивление. Последнее требование обусловлено необходимостью сохранения поверхностного заряда частицы вплоть до начала оплавления покрытия. В противном случае заряд быстро «стекает», частица разряжается и слой осыпается с поверхности изделия.

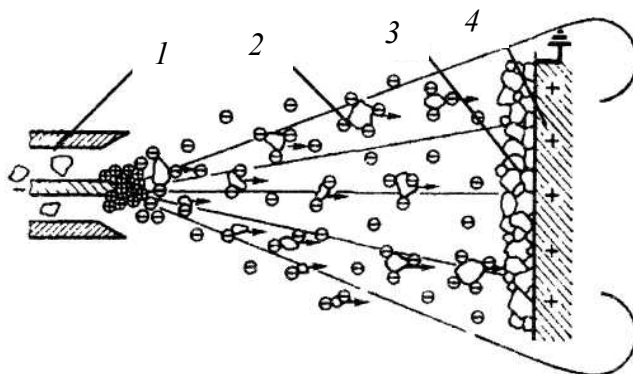


Рис. 6. Принципиальная схема электростатического нанесения эмалевого порошка:
1 – пистолет; 2 – частицы порошка; 3 – осажденное покрытие; 4 – изделие

Опудривание. Процесс нанесения заключается в опудривании поверхности эмалируемого изделия тонкоизмельченным эмальным порошком, просеиваемым через сито с размером ячеек 0,2–0,4 мм. Опудривать можно как холодное изделие, так и нагретое до 700–800°C. Холодное опудривание применяют для улучшения качества поверхности эмали: на покровную эмаль, нанесенную мокрым способом, перед ее сушкой наносят пудровую эмаль, приготовленную из той же фритты.

Погружение. При этом способе нагретую до высоких температур заготовку помещают в емкость с пудровой эмалью и обваливают в ней, пока на поверхности детали не образуется спеченный слой. Равномерность толщины слоя зависит от равномерности температурных полей. Процесс можно вести циклически с промежуточным нагревом.

Сушка покрытий и применяемое оборудование. После мокрого нанесения эмали производится сушка изделий. Высушенный и необожженный эмалевый слой называют «бисквитом». При сушке поверхности вода диффундирует из глубины эмалевого слоя наружу и переносит растворенные в ней соли, которыми обогащается поверхность. На большинстве заводов для сушки шликера на изделиях применяются конвейерные сушила вертикального и горизонтального типов. Вертикальные конвейерные сушила занимают небольшую производственную площадь. Они производительны и удобны в работе и могут располагаться вдоль конвейерных печей. Длительность сушки – 17–30 мин.

В конвейерных горизонтальных воздушных сушилах по типу конвейерных печей для обжига в качестве теплоносителя используют горячий воздух, нагретый до 230–240°C. Горизонтальное сушило состоит из транспортера и кожуха над ним.

В настоящее время получила распространение, особенно для плоских изделий, сушка излучением.

Для создания теплового излучения применяют три типа излучателей, из которых для сушки эмалей используют излучатели красного каления и темные. Эти излучатели работают на газе, мазуте или электроэнергии. Длительность сушки инфракрасным излучением относительно мала (1–6 мин), поэтому эффективным является проходное сушило, через которое высушиваемый материал перемещается с помощью подвесных транспортеров или ленточных конвейеров.

Печи для обжига покрытий. Обжиг грунта и эмали на стальных изделиях производят в печах при температурах в диапазоне 750–900°C в зависимости от вида обжигаемой эмали и типа изделия. Поэтому теплопередача осуществляется главным образом излучением. Печи бывают:

- 1) по цикличности – камерные и непрерывного действия (конвейерные и туннельные);
- 2) по типу энергоносителя – электрические и газовые;
- 3) по виду нагрева – печи прямого и косвенного нагрева;
- 4) по виду теплоизоляционных материалов – с плотной теплоизо-

ляционной кладкой, обладающей повышенной теплоемкостью и соответственно тепловой инерцией, и с легковесным (или волокнистым) теплоизоляционным материалом (безынерционные);

5) по типу транспортных устройств – с верхним подвесным люлечным конвейером, с подовым конвейером и с вращающимся подом.

Наибольшее распространение получили печи *прямого* нагрева электрические, в которых источником энергии являются нагревательные нихромовые спирали, навешиваемые на их внутреннюю поверхность. Печи с *косвенным* нагревом имеют радиационные трубы, располагаемые непосредственно в рабочем пространстве вертикально или горизонтально, внутри которых происходит сжигание газа.

3.3. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге грунтовой и покровной эмалей

Под *формированием* композиции металл – покрытие подразумевается комплекс физических, химических и физико-химических процессов в объеме и на межфазных границах металл – покрытие – атмосфера.

Характер протекания этих процессов определяется температурно-временными условиями, составом, структурой и свойствами компонентов композиции металл – покрытие, продуктов их взаимодействия и составом атмосферы, в которой происходит ее формирование.

Применительно к композиции (или системе) металл – эмаль процессы ее формирования включают:

1) *на межфазной границе металл – покрытие* – адгезию, прилипание и сцепление с образованием продуктов взаимодействия металл – покрытие;

2) *в объеме покрытия* – образование спекшихся, а затем расплавленных грунтового и покровного слоев и взаимодействие между ними;

3) *на межфазной границе покрытие – атмосфера* – образование сплошного стеклослоя и продуктов взаимодействия стеклорасплава и печной атмосферы.

На границе соприкосновения двух фаз при благоприятных условиях происходят первичные и вторичные физико-химические процессы взаимодействия. К первичным процессам, в результате которых возникает *адгезия*, относится возникновение Ван-дер-Ваальсовых сил притяжения или химической связи (ионной, ковалентной, металлической) между покрытием и покрываемым металлом.

Адгезия имеет размерность работы. Физической мерой адгезии служит ее удельная работа, т. е. работа разделения жидкой и твердой фаз с площадью контакта, равной единице.

Отличие сцепления от прилипания и контактного соединения связано с температурой и временем, в течение которого размягченное или расплавленное покрытие находилось в контакте с твердой поверхностью. Сцепление – это следствие вторичных процессов: химических и электрохимических реакций, растворения, диффузии и т. п. Эти процессы начинаются с поверхности и развиваются вглубь.

Результат вторичных процессов – изменение рельефа межфазной границы, образование новых продуктов, изменение концентрации исходных компонентов у границы раздела, т. е. формирование новых переходных слоев, которые являются характерным признаком сцепления.

Собственно сцепление является результатом действия многих факторов, в том числе состава и состояния подложки, состава эмали, свойств расплава и температуры.

В объеме стеклопокрытия с повышением температуры происходит формирование газоплотной структуры. Основные стадии формирования порошкового покрытия включают: перегруппировку частиц и разделение их на зоны, сфероидацию и начало смачивания и растекания частиц, герметизацию зон, гладкое растекание. Дальнейший нагрев покрытия может привести к сборке расплава, которая недопустима.

Этот процесс сопровождается постепенным понижением вязкости расплава стекла. На завершающих стадиях спекания и начальных стадиях растекания она равна 10^6 – 10^7 Па·с, на завершающей стадии растекания – 10^3 – 10^4 Па·с.

Традиционный процесс формирования покрытий включает последовательное нанесение и обжиг грунтовой и покровной эмали (режим 2С/2F – «2 слоя/2 обжига»). Процесс формирования покрытий по режиму 2С/1F («2 слоя/1 обжиг») существенно отличается от традиционного.

В случае традиционного эмалирования передача тепла к обжигаемой грунтовой эмали осуществляется через слой стали с высокой теплопроводностью ($\lambda = 65$ Вт/(м К)) и непосредственно из печной атмосферы. Покровная эмаль получает тепло из атмосферы печи и теплопереносом через металл и оплавленный (малопористый) слой грунтовой эмали ($\lambda = 0,9$ Вт/(м К)). При 2С/1F грунт получает тепло главным образом через металлическую подложку, так как с другой стороны его покрывает «бисквитный» слой покровной

эмали, плохо проводящий тепло ($\lambda = 0,3$ Вт/(м К)). Эти различия в процессах теплопередачи при традиционном эмалировании и по режиму «2 слоя/1 обжиг» обуславливают необходимость применения в последнем случае легкоплавкого грунта с хорошей растекаемостью и низкими значениями вязкости при обжиге.

Важным фактором, способствующим протеканию окислительно-восстановительных процессов при сцеплении грунта со сталью в режиме «2 слоя/1 обжиг», является беспрепятственное проникновение кислорода через «бисквитный» слой сначала к поверхности металла, а затем – к грунту. Поэтому слой покровной эмали должен быть пористым во время оплавления грунтовой эмали. В связи с этим для обжига в режиме «2 слоя/1 обжиг» грунтовая эмаль должна быть более легкоплавкой, чем покровная.

Из-за низкой интенсивности передачи тепла к грунту и необходимости формирования одновременно грунтового и покровного слоев в течение одного обжига грунтовая эмаль должна иметь короткий интервал плавкости, т. е. ее оплавление должно быть очень интенсивным. Для исключения динактивности, т. е. взаимопроникновения нижнего и верхнего слоев, грунт, согласно классической технологии, должен иметь более высокое поверхностное натяжение, чем покровная эмаль.

Важную роль при формировании системы металл – покрытие играет соотношение значений ТКЛР эмалей и стали, которое определяет возникновение и релаксацию напряжений в указанной системе, а также плотность эмалей как фактор, обуславливающий диффузию газовой фазы в стеклослой.

Формирование покрытия, состоящего из грунта и покрова, получаемого по технологии 2 слоя/1 обжиг, отличается от процессов для двухслойного покрытия по традиционной шликерной технологии из-за совместного обжига обоих слоев.

При низких температурах (100–200°C) процессы, происходящие в двухслойном покрытии и в каждом из отдельно обжигаемых слоев, аналогичны: выделение влаги из шликерных слоев, которые завершаются к 300°C. С 400°C начинается выделение связанной воды. На поверхности металла происходят реакции

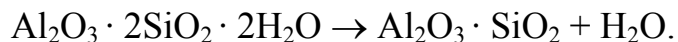


с последующим разложением при температурах ниже 570°C:



В результате через «бисквитный» слой выделяется водород и образуется тонкий слой Fe_3O_4 . В этом же интервале температур начинается выделение CO и CO_2 из стали и органических примесей в глинах.

При 500°C продолжается окисление металла и выделение газообразных продуктов; при 550°C – обезвоживание глины по реакции



Около 600°C начинает размягчаться легкоплавкий грунт в двухслойном покрытии. Завершаются процессы выделения H_2 , CO и CO_2 , и к 650°C расплав грунта смачивает поверхность металла, прекращая доступ кислорода к ней. В этом же интервале температур тугоплавкий традиционный грунт при режиме 2 слоя/2 обжига начинает размягчаться.

При $750\text{--}760^\circ\text{C}$ на поверхности стали наблюдается максимальное количество окалины, которая включает более 70% FeO , а также Fe_3O_4 и незначительное количество Fe_2O_3 . При этих же температурах в случае раздельного обжига покровной эмали «бисквитный» верхний слой начинает оплавляться, а обожженный грунт переходит в размягченное состояние.

При $720\text{--}740^\circ\text{C}$ покрытие 2С/1F представляет собой слой расплавленного грунта и слой частично оплавленной покровной эмали, который к 800°C полностью переходит в расплав. Образовавшийся слой окалины растворяется в грунтовом расплаве, и на контакте с металлом образуется промежуточный слой. При 840°C процесс формирования двухслойного покрытия завершается.

Полное расплавление грунта для традиционной технологии происходит только при $820\text{--}850^\circ\text{C}$, после чего окалина растворяется в расплаве; промежуточный слой образуется при $850\text{--}870^\circ\text{C}$. Раздельно обжигаемая покровная эмаль окончательно формируется при $840\text{--}850^\circ\text{C}$.

3.4. Условия прочного сцепления эмали с металлом

Прочное соединение эмали и металла возможно при условии близости значений ТКЛР эмали и металла. Если $\alpha_3 > \alpha_m$, то слой эмали при охлаждении будет сокращаться быстрее, чем металл, который противодействует усадке эмали. При этом в слое эмали возникают растягивающие напряжения, которые могут приводить к образованию трещин. При $\alpha_3 < \alpha_m$ в эмалевом слое появятся напряжения сжатия, и он будет откалываться.

На практике ТКЛР эмали меньше, чем металла. Различия в ТКЛР эмали и металла в определенной степени компенсируются эластичностью эмали и прочностью ее сцепления с металлом.

Таблица

Среднее значение ТКЛР металлов и эмалей

Металл	$\alpha \cdot 10^7, \text{K}^{-1}$	Эмаль	$\alpha \cdot 10^7, \text{K}^{-1}$
Сталь: малоуглеродистая титанистая	155 137	Грунтовая для стали	80–103
		Покровная для стали	93–120
		Безгрунтовая	120–140
Чугун	126–130	Грунтовая для чугуна	90–97
Алюминий	200–240	Эмаль для алюминия	133–150

Сцепление покрытий с металлом – результат протекания ряда процессов, особенно сложен механизм сцепления грунтовых эмалей со сталью.

Многочисленные гипотезы и теории сцепления базируются на следующих общеизвестных из практики эмалирования фактах. Прочное закрепление покрытий на стали достигается в случае:

- высокой степени смачивания грунтовым расплавом оксидного слоя на поверхности стали (краевой угол смачивания – 15–20°);
- обжига только в окислительной атмосфере;
- растворения слоя оксидов железа в приграничном слое расплава;
- наличия в составе грунта так называемых активаторов сцепления – оксидов кобальта, никеля и некоторых других переходных металлов, или нанесения на поверхность стали слоя никеля;
- наличия так называемого сцепляющего слоя на контакте эмаль – сталь;
- образования шероховатой межфазной границы;
- появления металлических частиц в приграничном слое эмали.

Гипотезы механического сцепления трактуют его только как результат проникновения эмалевого расплава в углубления шероховатой поверхности металла и действия сил сжатия в затвердевшем стеклослое.

Гипотезы образования дендритов железа, никеля и кобальта объясняют сцепление эмалевого покрытия со стальной подложкой как результат прочного срастания этих дендритов со стеклослоем и металлом.

Согласно гипотезе образования промежуточного слоя оксидов железа сцепление обеспечивается за счет частичного растворения в грунтовой эмали тонкого слоя FeO, прочно соединенного со сталью.

Одной из наиболее всеобъемлющих является электрохимическая гипотеза, которая объясняет сцепление следующим образом. При обжиге эмалевого покрытия вследствие электропроводности расплава на поверхности стали могут возникать короткозамкнутые гальванические элементы. На анодных участках кислород взаимодействует с растворяющимся железом с образованием оксида FeO, находящегося в расплаве. Одновременно на катодных участках происходит осаждение металлического кобальта или никеля, образующего с железной основой твердые растворы и таким образом прочно соединяющегося с подложкой (рис. 7).

При этом протекают следующие реакции



Ток идет от железного анода через эмалевый расплав к никелевому или кобальтовому катоду и после короткого замыкания течет в обратном направлении.

Оксиды сцепления также могут восстанавливаться, реагируя с растворенным в расплаве оксидом железа:

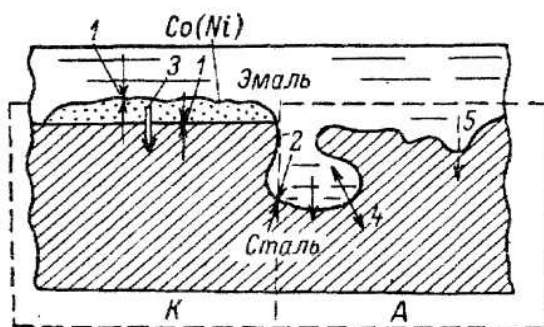


Рис. 7. Схема распределения различных типов связей, обуславливающих закрепление эмалевого покрова на стальной подложке:

К – катодный участок; А – анодный участок; 1 – химическая связь между осадком кобальта (никеля) и стекловидным покровом; 2 – химическая связь между покровом и стальной подложкой; 3 – связь за счет диффузии кобальта (никеля) в стальную подложку; 4 – механическая связь между эмалью и подложкой; 5 – связь за счет диффузии кремния в стальную подложку

Обобщение всех приведенных взглядов и гипотез приводит к выводу, что в основе сцепления лежат два фактора: электрохимическая коррозия, которая способствует образованию развитой химически активной поверхности и создает предпосылки для механического сцеп-

ления, и химическая связь, обеспечивающая термодинамические условия сцепления.

4. Покрытия по керамике

Глазури и их назначение. *Глазури* – стеклообразные покрытия, нанесенные на керамические изделия слоем 0,1–0,2 мм. Они защищают поверхность изделий от загрязнения, воздействия агрессивных сред, придают им эффектный внешний вид.

По исходному состоянию глазури разделяют на фриттованные и нефриттованные (сырые). Фриттованные глазури предварительно сплавляют в стекло, затем гранулируют и измельчают с получением водной суспензии. Подготовка сырых глазурей включает прямой помол сырьевых смесей, не содержащих растворимых в воде материалов.

Классификация глазурей:

- 1) по температуре наплавления – легкоплавкие (до 1100°C) и тугоплавкие;
- 2) по применению – фарфоровые, фаянсовые, для облицовочной керамики и т. д.;
- 3) по внешнему виду – прозрачные, цветные, глушеные блестящие, глушеные матовые и т. д.

Иногда глазури именуют соответственно названию одного, двух или нескольких компонентов, которые входят в состав глазури и определяют ее главнейшие свойства. Так, различают глазури: полевошпатовые, свинцовые, борные, цирконовые, стронциевые, литиевые, фосфатные и др.

Технология получения глазурных покрытий на основе фритт включает следующие стадии:

- 1) подготовка сырьевых материалов, приготовление шихты по традиционной технологии;
- 2) варка стекла (температура варки – 1200–1450°C в зависимости от состава) – проводится в газовых печах непрерывного действия, электропечах и вращающихся печах;
- 3) грануляция расплава отливкой в воду (получение фритты);
- 4) мокрый помол фритты, получение глазурного шликера;
- 5) нанесение глазурного шликера поливом или пульверизацией;
- 6) сушка и обжиг глазурного покрытия.

Базовой системой для получения большинства глазурей является система $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Составы глазурей включают, мас. %:

SiO_2 – 50–70, B_2O_3 – 12–18, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ – 9–12, Al_2O_3 – 2–5. Роль наиболее эффективного легкоплавкого компонента глазурей выполняет борный ангидрид, который обеспечивает также снижение ТКЛР.

Для получения глушеных глазурей, маскирующих цвет керамического черепка, применяют те же глушители, что и для эмалей. Наибольшее распространение имеет диоксид циркония.

ТКЛР глазурей должен быть ниже, чем ТКЛР керамики. При этом исключается образование напряжений растяжения в глазурном слое, которые приводят к появлению в слое трещин (цека). ТКЛР керамики в зависимости от ее назначения составляет от 40 до $80 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Разница ТКЛР керамики и глазури не должна превышать $10 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Получение глазурных фритт, шликеров и покрытий. Глазурные фритты получают при варке стекла во вращающихся печах периодического действия, газовых и электрических печах. Технология варки глазурного стекла и грануляции стеклорасплава аналогична технологии варки эмали. Отличительной особенностью являются более высокие температуры варки (до 1450–1500°C).

Для нанесения глазури на керамический черепок готовится глазурная суспензия (шликер). Для этого фритта мелется в шаровой мельнице.

Состав глазурного шликера, мас. ч.: фритта – 93–95, глина «Вескогранитик» (каолин) – 5–7, вода – 45–50.

Добавки глины беложгущейся или каолина способствуют удерживанию частиц глазури во взвешенном состоянии. Степень помола глазури контролируется остатком на сите № 063, который должен составлять не более 0,5%.

Нанесение глазурного шликера имеет свои особенности и производится следующими способами:

1. Полив. Для полива глазури используются различные устройства.

Устройство конусного типа представляет собой выпуклый металлический купол. Глазурь, стекая с его поверхности формирует непрерывную однородную завесу, напоминающую водопад. Глазурь наносится на плитки во время ее прохождения сквозь эту завесу. Размер конуса на отдельном участке нанесения зависит от размера изготавливаемой плитки.

Устройства конусного типа являются наиболее распространенным решением непрерывного нанесения глазури, позволяющим изготовителям добиваться очень гладкой поверхности – основного требования для некоторых видов плитки.

Один из наиболее распространенных дефектов – образование пузырьков или углублений на поверхности глазури. Этот дефект имеет

несколько возможных причин: выделение пузырьков при перемещении и взбалтывании глазури, неправильная пластификация, несоответствующая вязкость и плотность.

Устройство щелевого типа состоит из трехгранной загрузочной воронки, при этом глазурь вытекает через отверстие регулируемого диаметра и образует «водопад». Глазурь наносится на плитки во время прохождения под «водопадом». Эти устройства бывают различной длины, чтобы обеспечивать покрытие плиток разных размеров.

2. Система вращающихся дисков (одинарных и двойных). Глазурь наносится центробежной силой через пакеты дисков различного диаметра (120–180 мм), которые вращаются с высокой скоростью на расстоянии приблизительно 40–50 см от поверхности плитки. Эта система может наносить глазури самой разной густоты и плотности.

Большинство пакетов имеют скорость вращения 3000–4000 об/мин. Недостаток способа – не достигается идеально гладкая поверхность: появляются такие дефекты, как капли, комки, полосы.

Устройство нанесения капель наносит довольно крупные капли (примерно 1 см в диаметре) для получения некоторых эстетических эффектов (например, эффекта грубо отесанного камня). Устройства нанесения капель могут быть трубчатого или вороночного типа.

Трубчатые устройства похожи на дисковые аппараты, но вместо дискового пакета имеют цилиндрическую перфорированную трубку.

Вороночные подающие механизмы напоминают маленькие, непрерывно подаваемые зубчатые воронки, которые вращаются вокруг вертикальной оси, разбрасывая глазурь по плиткам в количествах, которые зависят от характеристик самой глазури (плотность и вязкость), формы воронок, их высоты, скорости вращения и приводной скорости.

3. Распылитель обеспечивает нанесение глазури в маленьком количестве. Мерцающие эффекты могут быть получены раскачиванием распылителя (иногда два разнонаправленных распылителя используются в одной камере). Интенсивность можно менять с помощью инвертора на подающем насосе.

Для нанесения методом распыления обычно используется глазурь низкой плотности с определенными реологическими свойствами, чтобы предотвратить образование комков и капель.

4. Устройства нанесения сухим способом используются для гранулированных глазури с широким диапазоном гранулометрического состава.

Обжиг глазурных покрытий проводится в режиме нагрев – охлаждение при температуре 900–1200°C (в зависимости от состава) в конвейерной электропечи.

Контроль качества глазурного покрытия. В обожженном изделии могут возникать следующие пороки глазурного покрытия.

Цек – тонкие (волосные) трещины на поверхности глазурного покрытия, возникающие, когда ТКЛР глазури больше ТКЛР керамического черепка. В момент окончания обжига слои глазури и черепка имеют одинаковую длину l_0 . Если бы керамический черепок и глазурный слой могли при охлаждении изменять свои размеры независимо друг от друга, то, так как ТКЛР глазури больше, чем керамического черепка, глазурный слой, будучи наплавлен на черепок, вынужденно принимает его размер и оказывается в растянутом состоянии. Напряжения растяжения при превышении предела прочности глазури вызывают на глазури появление трещин.

Аналогичный механизм образования цека действует из-за возникновения термических напряжений в глазури даже при равенстве ТКЛР глазури и черепка. В этом случае дефект может появиться вследствие того, что глазурь охлаждается быстрее, чем черепок.

Цек возрастает с увеличением плотности глазурного шликера, толщины слоя глазури, а также при плохой проплавке фритты. Тонкий помол глазури снижает ее склонность к цеку.

Показатели термостойкости глазурных покрытий оценивают по следующей методике: образцы нагревают в электропечи до температуры 150°C , выдерживают в течение 15 мин и резко охлаждают в воде. При отсутствии трещин во время нанесения красителя образец высушивают и испытания повторяются при более высокой температуре. Требуемые показатели термостойкости – не менее 150°C .

Отслаивание глазури возникает, когда ТКЛР глазури меньше, чем черепка. В этом случае глазурный слой при отверждении испытывает напряжения сжатия и, будучи упругим, стремится изогнуться и оторваться от поверхности керамического черепка.

Сборка – стягивание глазури в капельки и складки. Одна из причин этого дефекта – слишком тонкий помол исходных компонентов. Плохая обдувка изделий от пыли перед их глазурованием также может вызвать сборку.

Наколы – точечные впадины, не заполненные глазурью. Они образуются при заниженной температуре предварительного (утильного, «бисквитного») обжига неглазурованных изделий. Уменьшение поверхностного натяжения глазури способствует заплыванию наколов.

Плохой разлив, волнистость, слабый блеск глазури могут появиться при недостаточно тонком ее помолу, недостаточно тщательном смешении компонентов перед фриттованием и плохом проплавлении фритты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Виды стеклянных волокон. Непрерывное и штапельное волокна, их характеристика.
2. Области применения волокнистых материалов.
3. Типы и составы стекол для производства непрерывного волокна, их свойства и назначение.
4. Электроизоляционное стеклянное волокно, составы и особенности технологии.
5. Кварцевое и кремнеземное волокна, их свойства и назначение. Особенности технологии получения тугоплавких волокон.
6. Сырьевые материалы, используемые в производстве непрерывного волокна.
7. Особенности подготовки сырьевых материалов для варки стекол в производстве непрерывного волокна. Технологическое оборудование.
8. Технологические схемы подготовки сырьевых материалов и составления шихты в технологии непрерывного стекловолокна.
9. Утилизация отходов стекловолокна.
10. Стекловаренные печи для варки стекол в производстве непрерывного волокна, особенности их конструкции и кладки. Фидеры и их компоновка.
11. Фильтрный способ формования непрерывного стекловолокна. Формующие устройства и приспособления.
12. Технологические параметры формования непрерывного стеклянного волокна.
13. Стабилизация процесса формования непрерывного волокна. Причины обрыва волокон в зоне формования.
14. Замасливатели для непрерывного стеклянного волокна.
15. Двухстадийная технология получения непрерывного волокна. Варка и выработка стекла. Установки для получения волокна при двухстадийной технологии.
16. Стеклянные полые волокна, их свойства. Процесс получения полого волокна.
17. Процесс формования полого стекловолокна.
18. Контроль качества волокнистых материалов. Линейная плотность волокна, методы ее определения.
19. Основные технологические стадии переработки непрерывного волокна.
20. Технология штапельного волокна. Виды минеральной ваты.

21. Базальтовое волокно, его свойства и технология получения.
22. Составы стекол для штапельного волокна, их свойства.
23. Центробежные способы формования штапельного волокна.
24. Формование штапельных волокон способами раздува.
25. Комбинированные способы формования штапельного волокна.
26. Технология производства теплоизоляционных материалов на основе штапельного волокна.
27. Использование стекловолокна в композиционных материалах. Свойства и применение стеклопластиков.
28. Прочностные характеристики стеклопластиков. Факторы, влияющие на прочность стеклопластиков.
29. Технологические стадии получения изделий из полимерных композиционных материалов.
30. Стеклофибробетон, его свойства и применение. Стекловолоконистые армирующие материалы, их свойства.
31. Назначение эмалей. Грунтовые и покровные эмали, их составы и свойства.
32. Сырьевые материалы для варки эмалей. Получение эмалевой фритты. Варка стекла и грануляция расплава, применяемое оборудование.
33. Получение эмалевых шликеров и порошков.
34. Металлы для эмалирования. Подготовка поверхности изделий.
35. Способы нанесения эмалевых шликеров и порошков.
36. Электростатические способы нанесения эмалевых шликеров и порошков.
37. Сушка и обжиг эмалированных изделий, применяемые теплотехнические агрегаты.
38. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге грунтовой эмали.
39. Формирование эмалевых покрытий по технологии «2 слоя/2 обжига» и «2 слоя/1 обжиг» .
40. Условия прочного сцепления эмали с металлом.
41. Методы контроля качества фритты и эмалевых покрытий.
42. Глазури и их назначение. Классификация глазурей. Составы глазурных стекол и их свойства.
43. Получение глазурных фритт. Теплотехнические агрегаты для варки глазурных стекол. Подготовка глазурного шликера.
44. Способы нанесения глазурных шликеров. Обжиг глазурованных изделий. Контроль качества глазурованных изделий.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Методы испытаний стекловолокна

Обозначение нити. В соответствии с ГОСТ 8325 обозначение нити (комплексной, однокруточной, ровинга) содержит техническую информацию и состоит из следующих элементов:

1. Первая буква в обозначении указывает тип стекла: А – щелоче-содержащее; Е – электроизоляционное; S – высокопрочное; С – химически стойкое; АR – щелочестойкое.

2. Вторая буква указывает тип нити: С (непрерывная) – для обозначения непрерывных элементарных нитей; Д (прерывистая) – для обозначения нити из штапельного волокна.

3. Следующая за буквами одно- или двухзначная цифра указывает диаметр элементарной нити в микрометрах.

4. Далее через пробел указываются:

– линейная плотность в тексах;

– направление крутки: Z – правое, S – левое;

– число кручений на метр нити.

Пример обозначения однокруточной нити: ЕС6 34 Z 40.

Пример обозначения ровинга: ЕС10 2400 (2400 – общая линейная плотность).

Номинальная линейная плотность нити в зависимости от номинального диаметра элементарных нитей, количества сложений и кручений указана в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр элементарной нити, мкм	Номинальная линейная плотность комплексной нити, текс	Количество сложений	Количество кручений на 1 м
3	1,8	От 1 до 4	Кратное 10 в интервале от 20 до 250
4	1,9; 3,4		
5	2,0; 2,8; 5,6; 11; 22; 34; 44		
6	3,4; 6,8; 13; 14; 17; 26; 28; 34; 44; 52; 54; 68		
7	5,6; 9,2; 11; 22; 34; 36; 44; 54; 68; 72		
9	28; 34; 52; 54; 68; 72; 100; 140		
10	80; 84; 120; 160		
13	120; 136; 140; 210; 240; 280; 400		

Допускаемые отклонения фактической линейной плотности от номинальной составляют, %: +5; –7.

Обозначение вырабатываемой комплексной нити состоит из следующих элементов:

- тип используемого стекла;
- тип нити;
- номинальный диаметр элементарной нити, мкм;
- номинальная линейная плотность нити, текс;
- индекс замасливателя (после тире).

Определение линейной плотности нитей и ровингов. Линейная плотность – масса нити, пряжи или ровинга, выраженная в единицах текс.

В соответствии с ГОСТ 10878 линейную плотность вычисляют по формуле

$$T = M/L,$$

где M – масса, г; L – длина, км.

Следовательно, 1 текс = 1 г/1 км.

Различают следующие виды линейной плотности:

- фактическая линейная плотность (T_t), которая определяется после прокаливания нити, пряжи или ровинга;
- номинальная линейная плотность – линейная плотность вырабатываемых нити и ровинга;
- номинальная расчетная линейная плотность – произведение суммы номинальных линейных плотностей нити на коэффициент D , который учитывает изменение длины из-за скручивания.

Определение линейной плотности нитей и ровингов проводится согласно ГОСТ 6443.1.

Определение линейной плотности методом прокаливания. Принцип метода состоит в определении массы испытываемых проб определенной длины после прокаливания до постоянной массы в муфельной электропечи при температуре $625 \pm 20^\circ\text{C}$.

Для определения фактической линейной плотности отматывают нить на намоточном барабане (мотовиле) и завязывают в свободный узел. Отобранные для испытаний пробы не должны иметь повреждений, обрывов.

Пробу для испытаний помещают в держатель, устанавливают в нагретую муфельную печь и выдерживают 30 мин. Прокаленную пробу с держателем помещают в эксикатор, охлаждают и взвешивают на аналитических весах.

Взвешивание пробы производят на лабораторных весах с погрешностью не более 0,5% от взвешиваемой массы. Линейную плотность нити, ровинга в тексах вычисляют по формуле

$$T = 1000 \cdot m/l,$$

где m – масса отдельного мотка или отрезка, г; l – длина нити в мотке или отрезке, м.

Линейную плотность определяют как среднее арифметическое плотностей проб для испытаний.

Определение линейной плотности высушиванием. Принцип метода состоит в определении массы испытуемых проб определенной длины после высушивания в сушильном шкафу при температуре $107 \pm 2^\circ\text{C}$ не менее 30 мин.

Для определения линейной плотности отбирают три пробы в виде отрезков, длина которых определяется в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Линейная плотность, текс	Длина нити в пробе, м
$T \leq 5$	200
$5 < T \leq 30$	100
$30 < T \leq 60$	50
$60 < T \leq 100$	25
$100 < T \leq 300$	10
$T > 300$	1

Пробы высушивают при температуре $107 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 30 мин, затем взвешивают на лабораторных весах.

Линейную плотность нити в тексах вычисляют по формуле

$$T = 1000 \cdot m/l,$$

где m – масса отдельного мотка или отрезка, г; l – длина нити в мотке или отрезке, м.

Контрольные вопросы

1. Обозначение комплексных нитей и ровингов.
2. Единицы измерения линейной плотности нитей и ровингов.
3. Виды линейной плотности.
4. Допускаемые отклонения фактической линейной плотности от номинальной.
5. Методы определения линейной плотности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Определение теплопроводности волокнистых материалов

Определение теплопроводности волокнистых теплоизоляционных материалов проводится с помощью измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 при стационарном тепловом режиме по ГОСТ 7076. Диапазон измерения теплопроводности на данном приборе составляет 0,02–1,5 Вт/м·К, теплового сопротивления – 0,03–1,0 м²·К/Вт.

Принцип работы прибора основан на создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец перпендикулярно к лицевым граням образца. При этом измеряется температура противоположных лицевых граней образца и плотность теплового потока.

Вычисление теплопроводности λ и теплового сопротивления R производится вычислительным устройством по формулам

$$\lambda = H \cdot q / (T_H - T_x);$$
$$R_H = (T_H - T_x) / q - 2 \cdot R_K,$$

где λ – эффективная теплопроводность, Вт/м·К; R_H – тепловое сопротивление измеряемого образца, м²·К/Вт; H – толщина образца, мм; q – плотность стационарного теплового потока, проходящего через образец, Вт/м²; T_H – температура горячей грани измеряемого образца, К; T_x – температура холодной грани измеряемого образца, К; R_K – тепловое сопротивление между лицевой гранью образца и рабочей поверхностью плиты прибора, м²·К/Вт.

Стационарная установка прибора состоит из блока управления нагревателем, холодильника, тепломера, датчиков температуры, устройства преобразования первичных сигналов датчика, источника питания.

Образцы изготавливают в виде прямоугольного параллелепипеда, параллельные лицевые грани которого имеют форму квадрата со стороной 100×100 мм. Длину и ширину образца измеряют линейкой с погрешностью не более 0,5 мм.

Толщина образца должна составлять от 3 до 28 мм. Она измеряется штангенциркулем в четырех углах на расстоянии 50 ± 5 мм от вершины угла. За толщину принимают среднее арифметическое значение четырех измерений.

Подготовка прибора к измерению заключается в следующем:

– подключить электронный блок к установке, заземлить корпус

стационарной установки через клемму защитного заземления, подключить сетевой шнур к установке и к сети переменного тока 220 В;

- открыть установку, для чего ослабить прижимной микрометрический винт, повернуть против часовой стрелки эксцентриковый замок и освободить поводок коромысла; поднять поводок и отвести на 90° подвижную Г-образную стенку установки, поднять коромысло с закрепленной на ней плитой нагревателя, протереть поверхности нагревателя и тепломера;

- установить образец в установку и опустить коромысло, при этом зазор между плитой нагревателя и образцом должен составлять 2–5 мм;

- поднять поводок, закрыть Г-образную стенку, опустить поводок в паз эксцентрикового замка и, повернув его по часовой стрелке, закрепить поводок;

- вращая микрометрический винт по часовой стрелке, зажать образец до срабатывания трещотки динамометрического устройства. Для проведения измерений необходимо включить питание электронного блока. Нажатием кнопки «ВВОД» активизировать режим «Измерение». На дисплее высвечивается толщина образца $H = 15,0$ мм, кнопками \uparrow и \downarrow установить фактическую толщину образца и зафиксировать кнопкой «ВВОД». Далее кнопками \uparrow и \downarrow устанавливается температура холодильника T_x в соответствии с табл. 3 и фиксируется кнопкой «ВВОД». Устанавливается температура нагревателя T_n и фиксируется кнопкой «ВВОД».

Таблица 3

Рекомендуемая разница температур нагревателя и холодильника $\Delta = T_n - T_x$ в зависимости от теплопроводности и толщины образцов

λ , Вт/м·К	Толщина образца H , мм					
	3–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30
	$\Delta = T_n - T_x$					
0,02–0,04	5–12	10–25	22–30	25–35	–	–
0,05–0,1	–	8–20	17–25	20–30	–	–
0,11–0,2	–	–	12–20	18–25	20–30	–
0,21–0,3	–	–	8–14	12–20	15–27	–
0,31–0,4	–	–	6–10	8–15	10–20	–
0,41–0,5	–	–	–	7–12	9–16	–
0,51–0,6	–	–	–	6–10	8–13	10–17
0,61–0,7	–	–	–	5–9	7–12	9–14
0,71–0,8	–	–	–	–	6–10	8–13
0,81–0,9	–	–	–	–	5–9	7–11
0,91–1,1	–	–	–	–	4–8	6–10
1,11–1,3	–	–	–	–	–	4–8

В случае неверного ввода значений H , T_x и T_n необходимо нажать кнопку «РЕЖИМ» и повторить ввод.

Нажатием кнопки «ПУСК» запускается режим измерения, которое проводится в автоматическом режиме. Таймер в нижней строке дисплея отсчитывает время наблюдения, по истечении которого производится автоматическое вычисление значений эффективной теплопроводности λ и теплового сопротивления R_H измеряемого образца. При окончании измерения издается звуковой сигнал.

Для повторного измерения образца необходимо нажать кнопку «РЕЖИМ» и повторить указанные выше операции.

Контрольные вопросы

1. Виды тепло- и звукоизоляционных волокнистых материалов.
2. Показатели теплопроводности волокнистых материалов.
3. Факторы, влияющие на теплопроводность волокнистых материалов.
4. Принцип работы измерителя теплопроводности ИТП-МГ4.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Получение стекловидных покрытий

Общие сведения. *Эмаль* – стекловидный материал, который предназначен для получения покрытий по металлу.

По основным функциям эмали подразделяются на грунтовые и покровные.

Грунтовая эмаль (грунт) представляет собой промежуточный слой между металлом и покровной эмалью. Он обеспечивает прочное соединение этих различных по природе материалов. При обжиге грунтового покрытия протекают химические реакции между компонентами эмали и металлом, идет диффузия ионов, растворение продуктов реакций в стеклорасплаве. В результате изменяются рельеф поверхности металла, концентрация исходных компонентов у границы раздела и образуется промежуточный (контактный) слой между покрытием и основой. В этом случае возникает сцепление, прочность которого измеряется силой, необходимой для отрыва покрытия от основы. Прочное сцепление покрытия с защищаемой поверхностью является важнейшим условием эксплуатации покрытия. В грунтовые эмали вводят активаторы сцепления эмали с металлом: оксиды кобальта CoO

и Co_2O_3 в количестве 0,2–1 мас. %, оксиды никеля NiO и Ni_2O_3 (0,5–2 мас. %). Они окрашивают эмаль в сине-черные тона. Грунтовая эмаль должна иметь широкий интервал обжига, хорошо смачивать металл, ТКЛР грунтовой эмали должен быть ниже, чем у металла.

Покровные эмали наносятся на слой грунтовой эмали и обеспечивают необходимые потребительские и декоративные свойства покрытия. Для внутреннего покрытия чаще применяют белые (глушеные) эмали, для наружного – как белые, так и цветные.

Глушение покровной эмали происходит за счет преломления, отражения и дифракции света на частицах глушителя. Глушители – соединения, которые хорошо растворяются в расплаве при варке стекла и кристаллизуются при обжиге покрытия (TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , соединения фтора).

Глушение усиливается с увеличением разности показателей преломления глушителя и эмали. Оптимальный размер частиц глушителя составляет 0,2–1 мкм. Наиболее интенсивное глушение обеспечивается при выделении в процессе обжига кристаллической фазы. При обжиге наиболее распространенных титансодержащих эмалей выделяются кристаллы анатаза, при этом формируется мелкокристаллическая структура. В случае кристаллизации рутила выделяются крупные кристаллы желтоватого цвета и происходит окрашивание покрытия. Наилучшее глушение эмали, которое оценивается показателями белизны, обеспечивается при совместном введении TiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 .

Промышленные составы эмалей часто содержат соединения фтора: плавиновый шпат CaF_2 , криолит Na_3AlF_6 , кремнефторид натрия Na_2SiF_6 . В этом случае при обжиге эмалей выделяются NaF , AlF_3 . Фториды обладают слабым глушащим действием, поэтому вводятся в комбинации с другими глушителями. Из-за отрицательного влияния фтористых соединений на окружающую среду разрабатываются бесфтористые эмали.

При синтезе эмалей используются традиционные для стекольной промышленности сырьевые материалы. Для создания окислительных условий в состав эмалей вводят натриевую и калиевую селитры. Нитраты выполняют также роль плавней. При введении красителей получают цветные эмали.

Традиционная технология нанесения эмалевых покрытий включает нанесение и обжиг грунтовой эмали, нанесение покровной эмали на обожженный слой грунта и ее обжиг (2 слоя/2 обжига). Толщина слоев составляет до 0,2 мм. Вязкость при температуре обжига, по-

верхностное натяжение, температура размягчения покровных эмалей должны быть ниже, чем у грунтовых.

Возможно нанесение на слой порошка грунта покровной эмали с однократным обжигом (2 слоя/1 обжиг). При этом толщина грунтового слоя должна быть не более 0,08 мм, покровной эмали – 0,1 мм, что возможно при более тонком помоле фритты (размер частиц – не более 40 мкм). При однократном обжиге двух слоев грунтовая эмаль должна быть более легкоплавкой, чем покровная.

Получение эмалевого покрытия на металле

Технологическая схема эмалирования металлов включает следующие стадии:

- 1) подготовка сырьевых материалов и приготовление шихты;
- 2) варка фритты (температура варки – 1250–1350°C);
- 3) грануляция фритты при быстром охлаждении (в воде);
- 4) помол фритты (приготовление шликера эмали, сухой помол);
- 5) подготовка поверхности металла;
- 6) нанесение эмалевых покрытий;
- 7) сушка и обжиг покрытий.

По традиционной технологии эмалирования на металл шликерным способом наносят грунтовую эмаль, затем на обожженный слой грунта наносят шликерным способом покровную эмаль – один или несколько слоев с отдельным обжигом каждого слоя. Этот способ реализуется в лабораторных условиях.

При технологии эмалирования 2 слоя/1 обжиг шликерным способом наносят грунтовую эмаль, на нее сухим способом – покровную.

В промышленности используются такие методы нанесения эмали, как электростатический шликерный, электростатический порошковый, электрофоретический.

Подготовка поверхности металла к эмалированию. На поверхности металлических изделий всегда имеются загрязнения: твердые оксидные или солевые образования (окалина, ржавчина и т. п.); органические пленки (масляные, жировые). Перед эмалированием металлические пластины подвергают специальной обработке для обезжиривания, удаления ржавчины или окислов. Подготовка поверхности является одним из условий образования бездефектного эмалевого покрытия.

Обработка металла (стали) включает следующие операции.

1. Обезжиривание, которое может проводиться двумя способами:

а) обезжиривающий (черновой) отжиг в течение 10–20 мин при температуре 650–800°C;

б) химическая обработка в растворе следующего состава: кальцинированная сода Na_2CO_3 (40 г/л); каустическая сода NaOH (50 г/л). Температура раствора – 90°C, выдержка при этой температуре – 6–10 мин. После химического обезжиривания металлическую пластину промывают в проточной воде.

2. Травление поверхности для удаления окалины после обезжиривающего отжига или ржавчины после химического обезжиривания. Травление осуществляется в растворе NaCl (100 г/л) и H_2SO_4 (100 г/л) при температуре 65°C в течение 6 мин. После химической обработки образец промывают в проточной воде.

При травлении в кислотных растворах помимо очистки от окалины создается определенная шероховатость поверхности, что повышает прочность сцепления эмали с металлом.

3. Нейтрализация поверхности в растворе кальцинированной соды (5 г/л). Температура раствора – 80°C, время обработки – 6 мин. После нейтрализации образец промывают в проточной воде. Назначение операции – нейтрализация кислоты, оставшейся после травления на поверхности, защита протравленной поверхности от окисления при сушке и хранении.

Очистка поверхности от загрязнений и ржавчины может производиться также механическим способом – обработкой абразивным материалом. При этом поверхности придается шероховатость.

Приготовление шликера эмали проводят при мокром помоле в шаровых мельницах в течение 4–20 ч. Соотношение масс шаров и фритты – 2,4 : 1. Эмалевая фритта размалывается до частиц размером от 1 до 150 мкм. Для создания седиментационно устойчивой суспензии из частиц эмалевого стекла в состав шликера вводятся структурообразующие добавки. При этом в результате межчастичного взаимодействия создается пространственный каркас, в котором крупные частицы фритты находятся в подвешенном состоянии, т. е. не оседают при хранении. В качестве структурообразующей добавки вводится глина в количестве до 10 мас. ч на 100 мас. ч фритты. Шликер содержит 60–65 мас. ч. твердой фазы и 30–35 мас. ч. воды. Для улучшения текучести шликера вводят электролиты (буру или селитру натриевую) в количестве 0,2–1,5 мас. ч. (на 100 мас. ч. фритты).

Рецептура шликера грунтовой эмали, мас. ч.: фритта – 100, глина «Веско-гранитик» – 6, полевой шпат – 20, бура – 0,3, вода – 50.

Нанесение эмалевого шликера проводят следующими способами: окунание, облив, нанесение кистью или шпателем, пульверизация, электрофорез. После мокрого нанесения эмали необходима сушка при температуре не менее 60°C.

Определение температурного интервала обжига покрытий. Температурный интервал обжига эмалевых покрытий определяют при термообработке в градиентной печи. Пластинки стали размером 150×20 мм покрывают эмалью, сушат и обжигают в градиентной печи 5–10 мин с максимальной температурой 900–950°C. После обжига и охлаждения образцов оценивают качество эмалевого покрытия. По графику распределения температуры по длине печи определяют три зоны качества покрытия: пережог, нормальный обжиг, недожог. При нормальном обжиге покрытие хорошо растекается по поверхности пластины, не имеет вздутий. Недожог характеризуется отсутствием блеска, недостаточной растекаемостью. При пережоге покровная эмаль приобретает серый цвет или покрывается темными точками.

По другому методу металлические пластины с нанесенной эмалью обжигают при заданной температуре и продолжительности в муфельной печи. Изменяя температурно-временные условия термообработки, определяют оптимальный режим обжига.

Формирование эмалевого покрытия производят в следующей последовательности:

1) подготовка стальных образцов в соответствии с изложенной выше методикой;

2) подготовка эмалевого шликера;

3) покрытие подготовленных пластин металла тонким слоем шликера грунтовой эмали способом окунания, полива или кистью. Высушивают в сушильном шкафу при температуре до 60°C, затем обжигают в муфельной печи при температуре 830–950°C. Покрытие должно хорошо растекаться по поверхности металлической пластины, не иметь вздутий, разрывов сплошности;

4) нанесение на слой грунтовой эмали тонкого слоя шликера покровной эмали. Высушивают, помещают образец в горячую электропечь и обжигают при температуре 820–850°C в течение 5–6 мин. Оценивают качество эмалевого слоя, определяют температуру обжига, при которой получают бездефектное эмальевое покрытие.

Результаты получения эмалевого покрытия записывают по форме:

Тип эмали	Температура обжига, °C	Продолжительность обжига, мин	Качественные показатели эмали

Получение глазурных покрытий

Для нанесения глазури на керамический черепок готовится глазурная суспензия (шликер). Для этого фритта мелется в фарфоровом барабане. Небольшое количество опытной фритты размалывают вручную в фарфоровой ступке.

Состав глазурного шликера, мас. ч.: фритта – 93–95, глина «Вескогранитик» (каолин) – 5–7, вода – 45–50.

Добавки глины беложгущейся или каолина способствуют удерживанию частиц глазури во взвешенном состоянии. Степень помола глазури контролируется остатком на сите № 063, составляющим не более 0,5%.

Глазурь наносят на очищенные и немного увлажненные губкой образцы керамических плиток методом полива. Боковые поверхности и тыльную сторону плиток зачищают от натеков глазури. Покрытие должно быть равномерным по толщине (0,2–0,3 мм). Нанесенное глазурное покрытие сушится на воздухе.

Обжиг глазурных покрытий проводится в режиме нагревание – охлаждение при температуре 800–1050°C (в зависимости от состава) в муфельной электропечи. Выдержка при максимальной температуре – 10 мин. Для определения оптимальной температуры обжига глазурь наносится на полоски керамических плиток и обжигается в градиентной печи 20 мин. Качество глазурного покрытия оценивается визуально.

При обжиге глушенных глазурей различают следующие качественные характеристики: порошок глазури смывается; спек порошка; заглушенное блестящее покрытие с хорошим разливом; вспенивание глазури (пережог); каменное матовое покрытие. Исходя из данных градиентной термообработки, определяют оптимальную температуру обжига.

Показатели белизны и блеска глазурных покрытий определяются таким же образом, как и для эмалевых покрытий.

Показатели термостойкости оценивают по следующей методике: образцы нагревают в электропечи до температуры 150°C, выдерживают 15 мин и резко охлаждают в воде. При отсутствии трещин, которые проявляются при нанесении красителя, образец высушивают, и испытания повторяются при более высокой температуре. Требуемые показатели термостойкости – не менее 150°C.

Порядок выполнения работы:

- 1) подготовка глазурного шликера;
- 2) нанесение шликера на поверхность керамических образцов;
- 3) сушка сырого глазурного слоя в сушильном шкафу;

4) обжиг образцов в электропечи при температуре 800–1000°C (в зависимости от состава глазури) с выдержкой при максимальной температуре 10 мин;

5) оценка качества глазурного слоя, определение показателей блеска и белизны глазурей.

Результаты получения глазурных покрытий записывают по следующей форме:

Тип глазури	Температура обжига, °С	Продолжительность обжига, мин	Качество глазурного покрытия	Показатели свойств глазурного покрытия

Контрольные вопросы

1. Классификация эмалей. Грунтовые и покровные эмали, их свойства.
2. Технологическая схема эмалирования металлов.
3. Процессы, протекающие при формировании эмалевых покрытий.
4. Определение температурного интервала обжига покрытий.
5. Классификация глазурей.
6. Технологическая схема глазурования керамических изделий.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа выполняется на основе задания, в котором указываются тема работы и годовой выпуск продукции. Тема курсовой работы – разработка технологической линии производства стеклоизделий конкретного назначения, начиная с обработки сырьевых материалов и заканчивая складом готовой продукции.

Курсовая работа включает пояснительную записку и графическую часть. Графический материал включает технологическую схему производства, план и разрез цеха и выполняется на листах формата А1.

Пояснительная записка курсовой работы включает: титульный лист; задание на курсовую работу; реферат; содержание; введение; аналитический обзор литературы; ассортимент продукции и требования к ней; химический состав стекла, характеристику сырьевых материалов, расчет шихты; технологическую схему производства и ее описание; расчет материального баланса; расчет и подбор технологического и теплотехнического оборудования; контроль производства; мероприятия по охране окружающей среды; заключение; список использованных источников.

При изучении технологии производства стеклоизделий различного назначения рекомендуется использовать источники [1–13].

Объем разделов пояснительной записки составляет: введение – 1–2 страницы; аналитический обзор литературы – 10–15 страниц; технологический раздел – 25–30 страниц.

Пояснительная записка печатается на одной стороне листа формата А4. Каждый раздел текста пояснительной записки начинают с нового листа. Реферат, содержание, заключение, список литературы и первая страница каждого раздела должны снабжаться основной надписью для текстовых документов, выполненных по СПДС [15]. Остальные страницы не имеют рамок и основных надписей.

Оформление текстового материала пояснительной записки должно соответствовать требованиям стандарта [15].

В *реферате* указывается объем пояснительной записки, а также количество рисунков, таблиц и источников литературы. Далее через интервал перечисляются от 5 до 15 ключевых слов, написанных прописными буквами в единственном числе именительном падеже. В тексте реферата кратко отражается содержание курсовой работы с основными выводами и результатами расчетов. Объем реферата – не более 1 страницы.

Во *введении* следует показать перспективы развития производства продукции заданного ассортимента, пути снижения энергетических и материальных затрат при производстве и повышения качества изделий.

Аналитический обзор выполняется на основе проработки различных изданий научно-технической литературы – учебников, монографий, производственно-технических книг, журнальных статей, патентной документации. В обзоре дается характеристика продукции – определение, назначение, основные свойства, составы стекол. Последовательно рассматриваются способы производства продукции, при этом указываются их преимущества и недостатки.

В литературном обзоре должны быть изложены современное состояние и направления совершенствования технологии производства стеклоизделий. На основе анализа способов производства выбирается рациональная технологическая схема.

Технологический раздел состоит из ряда подразделов.

В подразделе «Ассортимент продукции и требования к ней» необходимо привести данные по назначению продукции, основные требования к ней в соответствии с ГОСТом на продукцию; выбрать ассортимент продукции и определить количество изделий конкретных видов и марок в соответствии с заданной производительностью.

Химический состав стекла выбирается на основе производственного опыта с учетом современных тенденций по совершенствованию составов стекол. Приводятся данные по влиянию компонентов стекла на его свойства. Обосновывается выбор основных и вспомогательных сырьевых материалов в соответствии с назначением стекла. Приводится характеристика сырьевых материалов, при этом указываются их марка, номер ГОСТа или ТУ на материал, требования нормативной документации по содержанию в нем основного вещества, примесей, влаги. В соответствии с выбранным составом стекла производится расчет шихты.

Технологическая схема производства заданного вида продукции составляется на основе обзора способов производства, приведенном в первом разделе пояснительной записки. Технологическая схема начинается с подготовки сырьевых материалов и заканчивается транспортировкой готовых изделий на склад. Рациональность технологической схемы производства обосновывается преимуществами выбранных способов обработки сырьевых материалов, варки стекла и формования стеклоизделий по производительности процессов, качеству изделий, уровню механизации и автоматизации, условиям труда.

Описание технологического процесса производства изделий включает назначение отдельных технологических операций, сущность физико-химических процессов, основные технологические параметры этих процессов. Например, при описании варки стекла необходимо изложить назначение и сущность стадий стекловарения, температурные режимы варки и выработки.

Расчет материального баланса выполняется для правильного подбора технологического оборудования и определения потребности в сырье и материалах на всех стадиях технологического процесса. Исходными данными являются годовая производительность по готовой продукции в весовом выражении, технологические потери на всех стадиях производства и доля их возврата в производство. Данные по потерям материала на различных стадиях технологического процесса берутся на предприятии. Методика расчета материального баланса изложена в [15].

Подбор технологического и теплотехнического оборудования производится в соответствии с разработанной схемой. Выбирают тип тепловых агрегатов, приводят их основные характеристики. Суточную производительность стекловаренной печи определяют в соответствии с материальным балансом. На основе данных по производительности печи и удельному съему стекломассы определяют площадь печи. Основные характеристики стекловаренных печей приведены в учебном пособии [17].

Подраздел «Контроль производства» выполняется на основе данных нормативно-технической документации (стандартов, технологических регламентов), а также учебной и технической литературы.

В *заключении* кратко и конкретно излагаются преимущества выбранной технологической схемы, данные по видам применяемого технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая технология стекла и ситаллов / под ред. Н. М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983. – 431 с.
2. Головин, Е. П. Химическая технология стеклянных волокон и волоконно-оптических элементов / Е. П. Головин. – Владимир: ВПИ, 1993. – 93 с.
3. Стеклянные волокна / под ред. М. С. Аслановой. – М.: Химия, 1979. – 256 с.
4. Жерновая, Н. Ф. Стекло в композиционных материалах / Н. Ф. Жерновая, В. И. Онищук. – Белгород: БГТУ, 2006. – 170 с.
5. Гутников, С. И. Стеклянные волокна / С. И. Гутников, Б. И. Лазоряк, А. Н. Селезнев. – М.: МГУ, 2010. – 52 с.
6. Черняк, М. Г. Непрерывное стеклянное волокно. Основы технологии и свойства / М. Г. Черняк. – М.: Химия, 1965. – 320 с.
7. Производство стеклянных волокон и тканей / под ред. М. Д. Ходаковского. – М.: Химия, 1973. – 312 с.
8. Технология эмали и защитных покрытий: учеб. пособие / под ред. Л. Л. Брагиной, А. П. Зубехина. – Харьков: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. – 484 с.
9. Петцольд, А. Эмаль и эмалирование / А. Петцольд, Г. Пешманн. – М.: Металлургия, 1990. – 516 с.
10. Аппен, А. А. Температуроустойчивые неорганические покрытия / А. А. Аппен. – Л.: Химия, 1976. – 295 с.
11. Ткачев, А. Г. Технология эмали и защитных покрытий / А. Г. Ткачев, А. С. Кушнарев, А. Я. Козьярский. – Новочеркасск: НГТУ, 1993. – 107 с.
12. Шаеффер, Н. А. Технология стекла / Н. А. Шаеффер, К. Х. Хойзнер. – Кишинев: СТИ-Print, 1998. – 280 с.
13. Мороз, И. И. Справочник по фарфорово-фаянсовой промышленности / И. И. Мороз, И. С. Комская, А. Л. Олейникова. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 296 с.
14. Бобкова, Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов: практикум / Н. М. Бобкова, Л. Ф. Папко. – Минск: БГТУ, 2005. – 196 с.
15. Проекты (работы) дипломные: СТП БГТУ 001-2010. – Введен 03.03.2010. – Минск: БГТУ, 2010. – 239 с.
16. Химическая технология стекла и ситаллов [Электронный ресурс]: программа, методические указания и контрольные задания для

студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 06 «Технология стекла и ситаллов» заочной формы обучения / сост. Л. Ф. Папко. – 427 Кб, формат – PDF. – Минск: БГТУ, 2012. – PDF.

17. Левицкий, И. А. Теплотехнические установки и агрегаты предприятий производства стекла. Расчет стекловаренной печи / И. А. Левицкий, Ю. Г. Павлюкевич. – Минск: БГТУ, 2006. – 232 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Программа дисциплины	4
Содержание дисциплины	7
1. Технология стеклянного волокна	7
1.1. Виды стеклянных волокон	7
1.2. Области применения стеклянного волокна и изделий на его основе	7
1.3. Составы и свойства стекол для производства непрерывного волокна	9
1.4. Сырьевые материалы для варки стекол и их подготовка	12
1.5. Одностадийная технология непрерывного стекловолокна	16
1.6. Двухстадийная технология непрерывного стекловолокна	25
1.7. Текстильная переработка непрерывного стекловолокна	26
1.8. Технология штапельного волокна (минеральной ваты)	27
2. Композиционные материалы на основе стекловолокна	34
2.1. Использование стекловолокна в композиционных материалах	34
2.2. Стеклопластики	36
2.3. Стеклофибробетон	39
3. Технология эмалирования металлов	41
3.1. Эмали и защитные покрытия	41
3.2. Технология эмалирования стальных изделий	48
3.3. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге грунтовой и покровной эмалей	53
3.4. Условия прочного сцепления эмали с металлом	56
4. Покрытия по керамике	59
Контрольные вопросы для подготовки к экзамену	63
Лабораторный практикум	65
Лабораторная работа № 1	65
Лабораторная работа № 2	68
Лабораторная работа № 3	70
Методические указания по выполнению курсовой работы	77
Литература	80

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

Составитель **Папко** Людмила Федоровна

Учебно-методическое пособие

Редактор *А. Д. Микитюк*
Компьютерная верстка *К. В. Великода*
Корректор *А. Д. Микитюк*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.