

Окончание. Начало статьи читайте в №№1-3 2022 г.

Код МРНТИ 52.45.03

С.Е. Пуненков¹Ю.С. Козлов²¹Публичное акционерное общество «Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат» (г. Асбест, Россия),²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)

ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В статье дается анализ состояния и перспектив развития хризотил-асбестовой отрасли в России, Казахстане, Канаде, Бразилии и других странах, диверсификации этих производств, применения комплексной переработки при добыче и обогащении хризотил-асбестовых руд. Описаны процессы серпентинизации и асбестообразования на месторождениях. Даны характеристики геолого-промышленных типов месторождений хризотил-асбеста, показаны достоинства месторождений хризотил-асбеста Баженовского подтипа. Рассматриваются методы и технологии добычи, обогащения, переработки хризотил-асбестовых руд, а также применение хризотил-асбеста в промышленности. Приведен обзор рынка производства и потребления хризотил-асбеста и фракционного щебня.

Ключевые слова: хризотил-асбест, ресурсосбережение, рыночная экономика, диверсификация производства, асбестовые горно-обогатительные предприятия, группы обогатимости, отходы, стабилизирующие добавки, фракционный щебень, порода, минерал.

Хризотил-асбест және хризотил-асбест саласындағы ресурстарды үнемдеу

Аңдатпа. Мақалада Ресейдегі, Қазақстандағы, Канададағы, Бразилиядағы және басқа елдердегі хризотил-асбест өнеркәсібінің жағдайы мен даму перспективаларына, осы салаларды әртараптандыруға, хризотил-асбест өнеркәсібін өндіру мен байытуда кешенді өндеуді қолдану талдауы қарастырылған асбест кендері. Кен орындарында серпентинизация және асбест түзілу процестері сипатталған. Хризотил-асбест кен орындарының геологиялық және өнеркәсіптік түрлерінің сипаттамасы берілген, Баженов типті хризотил-асбест кен орындарының артықшылықтары көрсетілген. Хризотил-асбест кендерін алу, байыту, өңдеу әдістері мен технологиялары, сонымен қатар хризотил-асбесттің өнеркәсіпте қолданылуы қарастырылған. Хризотилді асбест пен фракциялық қиыршық тасты өндіру және тұтыну нарығына шолу берілген.

Түйінді сөздер: хризотил-асбест, ресурс үнемдеу, нарықтық экономика, өндірісті әртараптандыру, асбест өндіру және өңдеу кәсіпорындары, байыту топтары, қалдықтар, тұрақтандырушы қоспалар, фракциялық қиыршық тас, тау жыныстары, минерал.

Chrysotile-asbestos industry – production from mining to enrichment

Abstract. The article provides an analysis of the state and prospects for the development of the chrysotile-asbestos industry in Russia, Kazakhstan, Canada, Brazil and other countries, the diversification of these industries, the use of complex processing in the extraction and enrichment of chrysotile-asbestos ores. The processes of serpentinization and asbestos formation in the deposits are described. The characteristics of geological and industrial types of chrysotile-asbestos deposits are given, the advantages of chrysotile-asbestos deposits of the Bazhenov subtype are shown. The methods and technologies of extraction, enrichment, processing of chrysotile-asbestos ores, as well as the use of chrysotile-asbestos in industry are considered. An overview of the market for the production and consumption of chrysotile asbestos and fractional crushed stone is given.

Key words: chrysotile-asbestos, resource saving, market economy, diversification of production, asbestos mining and processing enterprises, enrichment groups, waste, stabilizing additives, fractional crushed stone, rock, mineral.

Минеральная вата – волокнистый минеральный материал, состоящий из тончайших взаимно переплетающихся волокон, находящихся в стекловидном состоянии, и неволокнистых включений в виде капелек застывшего материала.

Минеральную вату подразделяют на три вида:

ВМСТ – вата минеральная из су-пертонного волокна диаметром от 0,5 мкм до 3 мкм;

ВМТ – вата минеральная из тонкого волокна диаметром от 3 мкм до 6 мкм;

ВМ – вата минеральная из волок-на диаметром от 6 мкм до 12 мкм.

Производство минераловатных плит из габбро-диабазы или порфи-рита, встречающихся в хризотил-асбестовых карьерах, позволяет ве-сти комплексную разработку место-рождения хризотил-асбеста. Произ-водство каменной ваты на синте-тическом связующем в виде плит или матов нашли свое применение в строительной индустрии: они применяются для утепления стен, перекрытий и покрытий зданий. Например, 1 м² покрытия с исполь-зованием минераловатных плит в 5-7 раз легче и на 25-40% дешев-ле, чем железобетонное покрытие, утепленное пенобетоном.

Минеральная вата, из которой изготовлена минплита, не горит, не гниет, она малогигроскопична, вы-держивает как высокие, так и низ-кие температуры, служит хорошей шумоизоляцией, обладает низкой теплопроводностью, снижает до 50% теплопотери и на 25% – энер-гопотребление. Минеральную вату применяют для теплоизоляции как холодных (до – 200°С), так и горя-чих (до + 600°С) поверхностей.

Теплоизоляционные материалы из каменной (минеральной) ваты производятся в виде рулонов, матов, плит, ламелей, клинов, гантелей и цилиндров (навивных и вырезных).

Количество связующего в матах и рулонах минимальное, по сравнению с плитами, где содержание связки максимум. Связки больше в каменной вате тогда, когда увеличивается объемный вес материала, жесткость и механическая прочность утеплителя.

Минеральная вата (каменная или базальтовая) – это теплоизоляционный материал, который состоит из длинных волокон неорганического материала (базальт, доломит, диабаз, порфирит, габбро, диорит).

Достоинством базальтового утеплителя (каменной ваты), произведенного из габбро, является его низкая теплопроводность и паропроницаемость (зависит от пористости утеплителя), химическая стойкость, устойчивость к высоким и низким температурам, хорошее шумопоглощение, высокая механическая стойкость, огнестойкость, долговечность и экологичность.

Сырьем для производства минеральной (базальтовой) ваты являются горные породы габбро-диабаз (породы базальтовой группы), встречающиеся при разработке действующего карьера Баженовского месторождения хризотил-асбеста.

Основным фактором для получения каменной ваты и теплоизоляционных материалов на ее основе с хорошими физико-механическими и эксплуатационными свойствами является модуль кислотности (основности) – показатель и для сырья, и для самой каменной ваты. Модуль кислотности основного сырья базальтовой группы состоит из основных оксидов (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и MgO). Речь идет о соотношении кислых и основных окислов или легкоплавких к тугоплавким оксидам. Плотность расплава прямо пропорционально зависит от модуля кислотности расплавляемого сырья.

Водостойкость минеральной ваты характеризуется показателем pH , который повышается при увеличении содержания в ней кислых окислов, что приводит к увеличению вязкости расплава, а это влечет за собой снижение производительности и ухудшение условий волокнообразования, поэтому не следует допускать слишком большой

вязкости во избежание нарушения технологического процесса, но, с другой стороны, не следует допускать низкого содержания в шихте кислых окислов, так как каменная вата теряет свою долговечность.

Долговечность минеральной (базальтовой) ваты во многом определяется модулем кислотности или соотношением стабильных и химически активных веществ в ней. Срок службы каменной (базальтовой) ваты 50 и более лет (срок службы зависит от условий ее эксплуатации).

Габбро-диабаз добываемого на Баженовском месторождении хризотил-асбеста имеет модуль кислотности 1,87-2,4. Средний показатель модуля кислотности габбро-диабаз по месторождению (2020 г.) составил 1,94. Средний химический состав важных для получения минерального волокна основных оксидов габбро-диабаз Баженовского месторождения (% по массе) варьируется в следующих пределах: SiO_2 – 45,80-49,53; Al_2O_3 – 9,5-10,5; CaO – 14,1-15,8; MgO – 12,07-18,48. Содержание оксида железа FeO колеблется в пределах от 5% до 7%.

Модуль кислотности (основности) соответствует формуле:

$$M_o = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3).$$

По значению модуля кислотности минеральную вату можно классифицировать согласно ГОСТ 4640-932 «Вата минеральная. Технические условия», таким образом: **A** – свыше 1,6; **B** – от 1,4 до 1,6; **B** – от 1,2 до 1,4.

Минеральная вата (минеральный утеплитель) с большим модулем кислотности является более гидрофобной к водопоглощению и более долговечной. Получаемая минеральная вата с модулем кислотности выше 1,6 характеризуется повышенной эксплуатационной стойкостью. Минеральная вата торговой марки «Эковер», производимая на заводе теплоизоляционных материалов ПАО «Ураласбест», имеет модуль кислотности 1,8 и выше, что соответствует типу А.

На свойства минеральной ваты значительно влияет состав сырья, технология ее производства.

Минеральная вата, произведенная из базальтовых пород (габбро-диабаз), обладает термической стойкостью и огнеупорностью и может выдерживать длительное воздействие высоких температур без разрушения. Важными показателями для характеристики теплоизоляционного материала являются не только водопоглощение, паропроницаемость, содержание органических веществ, плотность, сжимаемость, прочность на сжатие 10%-й деформации, предел прочности на сдвиг/срез и при растяжении перпендикулярно к лицевой поверхности, отрыв слоев теплоизоляционного материала, но и теплопроводность утеплителя.

Показатель теплопроводности показывает эффективность утеплителя, т.е. характеризует способность этого материала к удерживанию тепловой энергии и выражается в коэффициенте теплопроводности минеральной ваты. Коэффициент теплопроводности минеральной плиты/мата используют для расчета толщины теплоизоляционного слоя при внутренней и наружной отделке зданий и сооружений.

В зависимости от вида материала, состава и объемного веса коэффициент теплопроводности минераловатных плит варьируется от 0,035 Вт/м·К до 0,038 Вт/м·К при температуре 10°C, при 25°C – от 0,036 Вт/м·К до 0,039 Вт/м·К.

Одним из перспективных направлений на заводах по производству базальтовых минераловатных изделий явился выпуск гидропонного субстрата плотностью от 45 кг/м³ до 110 кг/м³ для выращивания цветов и овощных культур в теплицах с модулем кислотности не менее 1,6; водостойкостью (pH) – не более 4.

Субстрат для гидропоники из минеральной (базальтовой) ваты выпускается на заводе теплоизоляционных материалов в ПАО «Ураласбест» в виде пробок, кубиков и матов. Для производства гидропоники из каменной ваты применяется принцип увеличения гидрофильности минеральной ваты. С этой целью используют полиэтиленгликоль (ПЭГ). Для минеральной ваты в качестве гидропонного субстрата

важно иметь не менее 60% насыщения и удерживания влаги, принципиально здесь соблюдение соотношения воздух/вода. Важную роль играет тип расположения волокон и их толщина для обеспечения определенных требований при производстве минерального гидропонного субстрата по параметрам механической прочности, максимальной влаго- и воздухоемкости, дренажности, способности удерживать воду и насыщаться ей повторно.

Основными требованиями к качеству производимого и поставляемого на рынок гидропонного минераловатного (базальтового) субстрата (гидропонники) являются: водопоглощение, водоудержание, показатель pH, электропроводность (ЕС).

Преимущества применения минераловатного гидропонного субстрата: химически инертен, высокие капиллярные свойства, продолжительный срок службы, относительно стерильная среда, отсутствие токсинов и патогенов.

Сегодня на заводах по производству каменной ваты имеются одна, две, три, а иногда и четыре линии по выпуску теплоизоляционных материалов в виде плит, матов. Скорость каждой линии – 1-20 м/мин или от 1 м/мин до 25 м/мин.

Линии по производству теплоизоляционных изделий на основе каменной ваты работают с производительностью 2 т/ч, 3 т/ч, 4 т/ч, 5 т/ч, 6 т/ч, 10 т/ч, 12 т/ч, 14 т/ч.

Минеральная плита на синтетическом связующем состоит из каменной (базальтовой) ваты и полимеризованной синтетической связки. Каменная вата получена путем плавления габбро (температура плавления более 1500°C) и формирования из нее волокон, скрепленных между собой синтетическим связующим, состоящим из фенолформальдегидной смолы, воды, масляной и гидрофобизирующей эмульсий, силана, карбамида, сульфата аммония, аммиака). Например, для смолы нейтрализованной (готовой) рецептура связующего раствора до разбавления водой: фенолформальдегидная смола в связующем растворе для каменной ваты составляет 88,75%, силана – 0,05%, масляной эмульсии – 9,7%, эмульсии гидрофобизированной – 1,5%. Пропорции связующего для приготовления минерального волокна зависят от вида выпускаемой продукции, содержания свободного фенола и формальдегида в фенолформальдегидной смоле,

«сухого остатка» (смолы в водном растворе) и т. д. (рис. 3 и 4).

Для связки волокна с фенолформальдегидной смолой сцепление (адгезию) между органикой и неорганикой обеспечивает кремнийорганическое соединение «Силан»: VS-142, Wacker GENIOSIL GF 98 (3-Ureidopropyltrimethoxysilane), A-1100, A-1524, Z-6020.

Кремнийорганическое соединение в виде силанов хорошо реагирует с водой и образуют полярные молекулы, что способствует их абсорбированию на поверхности минеральных волокон, создавая между волокном и смолой некую прослойку, которая обеспечивает сцепление между ними.

При механических воздействиях, формировании, укладке, сжатии, транспортировании происходит частичное разрушение минеральных волокон, образуется минеральная пыль. Для связки минеральной пыли применяются обеспыливающие масляные 50% эмульсии типа: МЭ-50/42, Garo 217, Mulrex 88, Hydrowax 82, Koydaoil HPH-MW, Пентавакс-45, Аквадаст Р 1053, Аквадаст Р 1353, Аквадаст Р 1153, Аквойл 5202 П (ТУ 2250-004-88341039), которые связывают пыль, одновременно снижая ломкость, уменьшая трение между волокнами в материале и предохраняя от попадания внутрь материала влаги. Обеспыливающие эмульсии представляют собой масляную эмульсию на водной основе с 50% концентрацией и состоят из воды, эмульгатора (поверхностно-активного вещества), смеси минеральных масел и восков с температурой вспышки более 300°C.

Масляная (обеспыливающая) эмульсия применяется совместно со связующим при производстве теплоизоляционных материалов.

Для водоотталкивания и предотвращения впитывания минеральной ватой влаги применяют гидрофобизирующие эмульсии с концентрацией 50-60%. Основные компоненты гидрофобизирующей эмульсии: вода, эмульгатор и силикон – полидиметил (алкил) силоксандиол. На заводах по производству теплоизоляционных материалов применение нашли гидрофобизаторы типа:

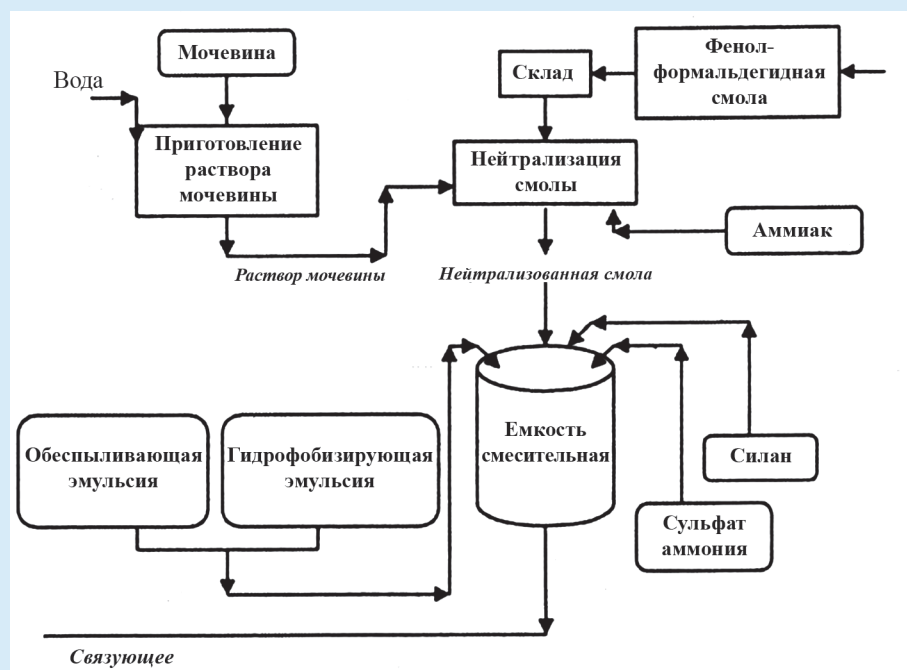


Рис. 3. Схема приготовления связующего (фенольное отделение).

Сурет 3. Байланыстырғышты дайындау схемасы (фенолдық бөлім).

Figure 3. The scheme of preparation of the binder (phenolic compartment).

кремнийорганическая эмульсия «Пента-812» (ТУ 2251-054-40245042), «Wacker Silres BS 1042», «Silres BS 5136», «Роса-70к». Основные характеристики гидрофобизирующей эмульсии: растворимость в воде, содержание активного вещества (%), плотность (г/см³), водородный показатель (рН), температура воспламенения (°С), содержание кремния, массовая доля нелетучих, стабильность в растворе связки.

Гидрофобные свойства связующему в минеральной вате придает полисилоксандиол, вступающий в реакцию конденсации с фенолспиртами, придавая отвержденному связующему гидрофобные свойства. Образующая гидрофобная пленка представляет собой ориентированные молекулы гидрофобизатора на поверхность минерального волокна, где одна (активная) группа гидрофобизатора, реагируя с водой, адсорбированной поверхностью материала, образует связи «поверхность – кислород – кремний». Другая группа гидрофобизатора (радикалы), связанная с кремнием, ориентируется при этом наружу, образуя внешний слой, который не смачивается водой, таким образом предохраняя материал от проникновения влаги.

На заводах теплоизоляционных материалов при приготовлении связующего для минеральной ваты все большее применение получает принцип два в одном, а именно: совмещение в оптимально подобранных концентрациях одновременно гидрофобизатора и обеспыливателя. Это – высокостабильные эмульгаторы, которые обеспечивают идеальную совместимость обеспыливающих эмульсий с гидрофобизатором: например, масляно-силиконовая эмульсия с различным содержанием силикона для изделий различной плотности «Пентавакс-842» (ТУ 2229-166-40245042) и «Пентамикс-843». Совмещение гидрофобизатора и обеспыливателя в одном продукте обеспечивает удобство применения, уменьшает количество технологических операций и время на приготовление связки, упрощает схему приготовления связующего на заводах теплоизоляционных материалов и снижает расход эмульсии.

Для приготовления водного раствора связующего для минерального волокна (ковра) имеет значение водоподготовка. Вода должна быть умягченной (не жесткой). Умягчение технической воды достигается фильтрацией через катионообменную смолу. Скорость обмена катионов зависит от их диффузии к поверхности раздела «катионит – вода» и определяется структурой катионита. Регенерация фильтра осуществляется промывкой раствором хлористого натрия.

При сокращении времени водоподготовки в состав связки могут вводить аммиак, который снижает жесткость воды и продлевает срок годности смолы (связки).

Для нейтрализации фенолформальдегидной смолы вводится карбамид марки А (ГОСТ 2081), предварительно разбавленный водой.

Помимо карбамида при приготовлении раствора синтетического связующего заводы по производству теплоизоляционных материалов могут использовать различные

технологические добавки, такие как водный раствор аммиака 25% (NH₄OH, ГОСТ 9) для умягчения воды, дополнительного связывания остатков свободного формальдегида после модифицирования смолы карбамидом и снижения поверхностного натяжения раствора связующего.

В качестве добавки для увеличения степени поликонденсации связующего в камере полимеризации в раствор связующего в виде водного раствора вводится сульфат аммония (NH₄2SO₄, ГОСТ 9097) с концентрацией 0,1-3,0% масс. от массы фенолформальдегидной смолы. Чем больше в раствор связующего введено водного сульфата аммония, тем быстрее будет протекать реакция отверждения связки (смолы) в камере полимеризации. При вводе сульфата аммония в связку необходимо учитывать содержание свободного щелочного катализатора и степень конденсации фенолформальдегидной смолы. Сульфат аммония увеличивает растворимость смолы фенолформальдегидной

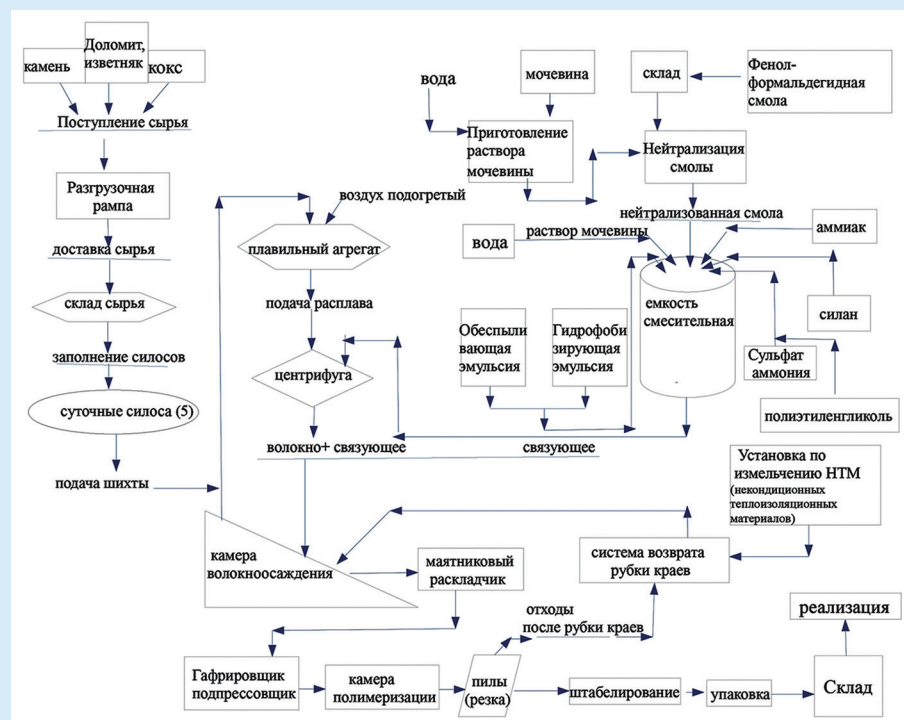


Рис. 4. Схема производства теплоизоляционных материалов (в виде плит из базальтовой ваты на синтетическом связующем).

Сурет 4. Жылу оқшаулағыш материалдарды өндіру схемасы (синтетикалық байланыстырғышта базальт мақтасынан жасалған плиталар түрінде).

Figure 4. Scheme of production of thermal insulation materials (in the form of basalt wool plates on a synthetic binder).

в растворе и понижает концентрацию формальдегида. Серноокислый аммоний для смолы фенолформальдегидной используют в виде 40%-го водного раствора. Его рекомендуется готовить из расчета трехсуточной потребности. Приготовление серноокислого аммония делается из расчета 40% аммония и 60% горячей воды при постоянном перемешивании в течение 30 мин, затем контроль плотности: при 20°C плотность составит 1230 кг/м³.

Применяемые для производства теплоизоляционных материалов фенолформальдегидные смолы классифицируются на «нейтрализованные» и «не нейтрализованные», т. е. чистые смолы не модифицированы, например, модифицированы водным карбамидным раствором.

«Не нейтрализованные» фенолформальдегидные смолы – это резольные смолы типа PFR (phenol-formaldehyde resin), т. е. смолы, концентрация свободного формальдегида в которых 5-12% масс., их еще называют «неразбавленными» или «немодифицированными». Срок хранения таких смол увеличен и составляет до 6 недель при температуре хранения или перевозки от +5°C до +20°C. Нейтрализация таких смол по свободному формальдегиду производится на заводах по производству теплоизоляционных материалов. Преимуществами являются условия транспортирования, увеличенный срок хранения, экономия, т. к. из 1 т «не нейтрализованной» смолы при нейтрализации и выравнивании концентрации по «сухому остатку» получается 1,19-1,33 т «нейтрализованной» фенолформальдегидной смолы.

«Нейтрализованные» – это фенолформальдегидные смолы, к которым был введен карбамид и вода. Срок хранения и транспортирования этих смол от 2 до 4 недель при температуре хранения от +10°C до +20°C. Модифицированная карбамидом фенолформальдегидная смола имеет обозначение PUFR, она синтезирована по свободному фенолформальдегиду 5-12% масс. Процесс нейтрализации фенолформальдегидной смолы заключается в удалении из нее избыточного

формальдегида путем введения в резольную фенолформальдегидную смолу при 40-45°C водного раствора карбамида (30-40%) и перемешиванием от 2 ч до 8 ч в колонне (емкости для нейтрализации смолы) до снижения концентрации свободного формальдегида до 0,5-0,3% массовой доли.

Для приготовления связующего для минеральной ваты чаще всего используются карбамидо-фенолформальдегидные резольные смолы (PFR) и смолы, модифицированные карбамидом (PUFR).

Фенолформальдегидные смолы подразделяются:

- по сухому остатку $\geq 40\%$ и $\geq 50\%$ (смола в водном растворе) и концентрации формалина в нем;
- по применяемому катализатору (органический и неорганический);
- по применяемому «стабилизатору» (этиленгликоль и полиэтиленгликоль), который способствует продлению срока хранения смолы и влияет на физико-механические свойства минерального ковra;
- по вязкости;
- по pH среде.

Предъявляемые производителями теплоизоляционных материалов требования к фенолформальдегидной смоле: адгезия к силикатному волокну, растворимость в воде (г/г, при температуре 20°C), реактивность при нагревании и отверждении (время желатинизации), термостойкость и влагостойкость в отвержденной форме, устойчивость к старению (срок хранения при температуре не более 20°C), массовой доли щелочи, плотности (г/см³, при 20°C), водородный показатель (pH).

Фенолформальдегидные смолы могут быть получены в виде резольных (термореактивные, бакелитовые – поликонденсацией с избытком формальдегида в щелочной среде) и новолачных (термопластичные – поликонденсацией с избытком формальдегида в кислой среде). Фенолформальдегидные смолы производятся путем поликонденсации фенолов, полученных из каменноугольной или сланцевой смолы (синтетические могут быть изготовлены из пропилена и бензола), и формальдегидов. Формальдегид

в виде газа растворяется в воде и в производстве фенолформальдегидных смол применяется в виде водного 40%-го раствора (формалина). Фенолформальдегидные смолы являются продуктами поликонденсации фенола и формальдегида в присутствии катализатора и в зависимости от применяемого катализатора могут быть двух типов – резольные и новолачные.

Завод по производству теплоизоляционных материалов состоит из следующих переделов: зоны хранения сырья, шихтового и фенольного отделения, линии «горячей» зоны (плавка сырья и формирование минеральных волокон, полимеризация минерального ковra (термообработка)) и «холодной» зоны (резка спекшегося минерального ковra на определенные размеры (рис. 4)).

Для производства минераловатных изделий применяются плавильные агрегаты: коксовые и коксогазовые, газовые вагранки, ванновые печи (в зависимости от способа подогрева воздуха могут быть регенеративные и рекуперативные, топливо: мазут или газ) и электродуговые печи, печи конверторного типа, циклонные печи.

Процесс начинается со складирования, дозирования, шихтования и подачи сырья в плавильный агрегат (вагранку). В ваграночном отделении производится плавление сырья (шихты) в вагранке (вагранка применяется как открытого, так и закрытого типа) с водоохлаждением. Для плавления в вагранке применяется в основном шихта трехкомпонентная, с разным фракционным составом. Структура шихты выглядит следующим образом: основной сырьевой материал – габбро (80,7%), вспомогательный (раскислитель) – известняк (6,3%) и топливо – литейный кокс (13%). Соотношения в шихте зависят от модуля кислотности основного сырья (габбро), нужной производительности, вязкости расплава.

Источником энергии для плавления шихты в вагранке является кокс или природный газ. Для снижения расхода кокса или газа, поднятия температуры в вагранке

и повышения производительности подается горячее дутье и кислород. Вагранка оснащена системой натекания расплава на центрифугу и устройством очистки и дожига ваграночных газов.

Наиболее энергоемкой стадией производства волокнистой теплоизоляции является получение минерального расплава.

Для получения расплава заданных параметров – температуры плавления (перегрева), вязкости и поверхностного натяжения – процесс плавления шихты имеет важное значение. Именно при плавлении шихты в вагранке происходят химические и термодинамические процессы. Расплав через желоб подается на первый валок четырехвалковой центрифуги с координатами по ширине точно в центр вала, по окружности – под углом 45° к вертикальной плоскости, проходящей через ось вала. Расплав, сбрасываемый с первого вала, подается на поверхность второго и далее последовательно на валки 3 и 4. В процессе волокнообразования участвуют все четыре вала. Благодаря высокому числу оборотов валков, расплав приобретает ускорение, создаются центробежные силы, которые разбивают и отрывают части расплава от вала и подхватываются воздушным потоком, вытягивая их в волокна, здесь же волокна пропитываются связующим (в отдуваемое от центрифуги волокно впрыскивается раствор синтетического связующего) и под действием воздушного потока переносятся на наклонный перфорированный конвейер в камеру волокноосаждения, имеющую треугольную форму (сейчас чаще применяются камеры волокноосаждения барабанного типа). Там волокно из-за разности давления воздушных потоков осаждается и формируется в так называемый первичный минеральный ковер. Под верхней ветвью перфорированного приемного конвейера камеры волокноосаждения сделана зона пониженного давления для удаления отработанного энергоносителя (воздуха).

В последнее время в странах СНГ получил распространение

центробежно-дутьевой (комбинированный) способ разбивания расплавленного расплава и волокнообразования с использованием четырехвалковой центрифуги или «Spinner» (двойная центрифуга). Производство минерального волокна центробежно-дутьевым способом включает в себя предварительное механическое центробежное расщепление струи расплава и последующее ее вытягивание в волокна под действием струи сжатого воздуха, одновременно через шпиндели центрифуги идет пропитывание формирующегося волокна водной связкой.

Вытягивание под действием раздува и центробежных сил центрифуги оторванных частичек расплава (капелек) и формирование их в волокна зависят от инерционных сил и сил поверхностного натяжения, а также от вязкости самого расплава.

Производительность четырехвалковых центрифуг от 4 т/ч (min) до 7,5 т/ч (max), КПД – 70-82%. Такие центрифуги позволяют получить теплоизоляционные изделия с минимальной плотностью до 25 кг/м^3 . Суммарная мощность приводов центрифуги (4 двигателя) может быть $P = 104-120,75 \text{ кВт}$. Для отдува в центрифуге применяются вентиляторы высокого давления, в которых количество воздуха для отдува может достигать 30000 (2×15000) $\text{м}^3/\text{ч}$, давление воздуха – 28000 Па, а установленная мощность двигателя (2 двигателя) – от 320 кВт до 400 кВт.

Двойная центрифуга («Spinner») применяется для производительности по расплаву от 9 т/ч до 12 т/ч.

В процессе формирования волокна за счет разницы в скорости между волокном и твердыми включениями отделяются несформированные твердые включения («королек»).

Первичный слой минерального ковра снимается потоком воздуха с вертикально движущихся пластин конвейера и переносится на горизонтальный принимающий конвейер, по которому минеральный ковер транспортируется далее к промежуточному конвейеру, а затем спускается к подводящей ленте – к вертикальным лентам маятникового раскладчика. Маятник

укладывает минеральный ковер слоями на загрузочный конвейер, где формируется окончательный слой материала с заданными параметрами. Далее минеральный ковер проходит через систему сжатия, т. е. поступает на гофрировщик-подпрессовщик, где волокна пресуются, сминаются и сжимаются до получения соответствующей ориентации волокон, требуемой толщины и увеличения его плотности.

На следующем этапе минераловатный ковер подается в камеру полимеризации, где жидкое синтетическое связующее под воздействием тепловой обработки при $245-250^\circ\text{C}$ полимеризуется и придает формируемому минеральному ковра необходимую жесткость. Выходя из камеры полимеризации, сформированный минеральный ковер охлаждается, проходит рубку краев и направляется на распиливание с помощью пил (ленточной, продольной и качающейся (маятниковой)) на заданные размеры. Распиленный на плиты определенной геометрии минеральный ковер поступает на штабелеукладчик, затем отправляется в упаковочную машину. После упаковки минеральных плит производится съемка и паллетирование. Затем паллеты складываются с помощью вилочных погрузчиков в складе готовой продукции.

Заводы по производству теплоизоляционных материалов (каменной ваты), выпускающие в виде готовой продукции минеральные базальтовые плиты и техническую изоляцию, имеют обычно хороший средний показатель по строительной отрасли с годовой производительностью труда на одного работающего на заводе от 5 млн рублей до 10,5 млн рублей. Производительность труда на одного работающего прежде всего зависит от уровня автоматизации, минимизации затрат и потерь производства ((физических потерь производства (расплав, волокно, связки, «некондиция») и рабочего времени), уровня организации работ на заводе, уровня ведения технологии и производства, технического состояния оборудования, квалификации и вовлеченности, численности персонала.

Средняя себестоимость получения минеральных плит и матов (на основе базальтового волокна) составляет по отрасли от 24750 руб. до 32100 руб., а расход на тонну продукции, например, кокса для коксовых вагранок колеблется от 195 кг до 230 кг, расход фенолформальдегидной смолы от 60 кг до 80 кг. Стоимость 1 т в зависимости от плотности и номенклатуры

теплоизоляции на рынке составляет 57800-63700 руб.

Выводы

Хризотил-асбестовая отрасль развивается и хорошо адаптирована к рыночной экономике, вызовам и запросам настоящего и будущего времени. Производится комплексная добыча и переработка минерального сырья, добываемого в асбестовых карьерах.

На горно-обогатительных и перерабатывающих предприятиях отрасли осваиваются ресурсосберегающие технологии. Производится диверсификация и модернизация производства. Отрасль минимизировала производственные риски и вышла из производства монопродуктов, расширив ассортимент выпускаемой продукции и переориентировав рынки сбыта.

Сведения об авторах:

Пуненков С.Е., канд. техн. наук, главный технолог управления комбината Публичного акционерного общества «Ураласбест» (г. Асбест, Россия), ore-dressing@control.uralasbest.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4034-3457>

Козлов Ю.С., студент кафедры международной экономики и менеджмента Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия), kozlovuyuryu@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0121-0045>

Авторлар туралы мәліметтер:

Пуненков С.Е., техника ғылымдарының кандидаты, «Ораласбест» жария акционерлік қоғамы комбинаты басқармасының бас технологу (Асбест қ., Ресей)

Козлов Ю.С., «Ресейдің тұңғыш президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералдық университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, халықаралық экономика және менеджмент кафедрасының студенті (Екатеринбург қ., Ресей)

Information about the authors:

Punenkov S.E., Candidate of Technical Sciences, Chief Technologist of the Plant Management of the Public Joint Stock Company «Uralasbest» (Asbest, Russia)

Kozlov Y.S., Student at the Department of International Economics and Management of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin» (Yekaterinburg, Russia)

Поправка к тексту статьи «Хризотил-асбест и ресурсосбережение в хризотил-асбестовой отрасли», опубликованной в №3 2022 г.

На стр. 21 **текст** «...Для процесса выщелачивания и извлечения магния требуется подготовка отходов серпентинит-перидотитовых пород по фракционному и химическому составу, а именно: доизмельчение (в мельницах) и сепарация (как гравитационная для удаления хризотил-асбестового волокна, так и магнитная для удаления железа), так как крупная фракция и хризотил-асбестовое волокно, содержащие железо, снижают эффективность процесса выщелачивания...» **следует читать:**

«...Для процесса выщелачивания и извлечения магния требуется подготовка отходов серпентинит-перидотитовых пород по фракционному и химическому составу, а именно: доизмельчение (в мельницах) и сепарация (как гравитационная для удаления хризотил-асбестового волокна, так и магнитная для удаления железа), так как крупная фракция серпентинита + 0,4 мм должна быть не более 5-2,5%, содержание хризотил-асбестового волокна не должно превышать 0,1% в классе асбестового волокна + 0,1%, содержание оксида железа не должно быть более 4-5%. Превышение перечисленных показателей ведет к росту расхода реагентов и затрудняет процесс выщелачивания и осаждения...»

Текст «...На асбестовых горно-обогатительных комбинатах разрабатываются и предлагаются к промышленному освоению технологии, предусматривающие сернокислотное выщелачивание отходов хризотил-асбеста с извлечением в раствор 75-80% магния в виде сульфата...» **следует читать:**

«...На асбестовых горно-обогатительных комбинатах разрабатываются и предлагаются к промышленному освоению технологии, предусматривающие сернокислотное или солянокислотное выщелачивание отходов хризотил-асбеста (серпентинита) с извлечением в раствор 75-80% магния в виде сульфата...»

Текст «...Просев грузового потока цеха обогащения класса (-1,1+0) мм (серпентинит-передотитовые породы) проходит термическую активацию в печи при температуре 500-600°C и после термической обработки подвергается измельчению в мельницах до крупности менее 0,1 мм. После измельчения продукт менее 0,1 мм идет в процесс выщелачивания, который проводят с использованием топочного углекислого газа, образующего при пропускании через водную суспензию активированных пород серпентинита и перидотита угольную кислоту HCO_3 (бикарбонатный ион) с водородным показателем (кислой среды) $\text{pH} = 3,5-4,5...$ » **следует читать:**

«...Просев грузового потока цеха обогащения класса (-1,1+0) мм (серпентинит-передотитовые породы) проходит термическую активацию в печи при температуре 500-600°C и после термической обработки подвергается измельчению в мельницах до 0,1 мм. После измельчения продукт (серпентинит) более 0,1 мм направляется в процесс выщелачивания, который проводят с использованием топочного углекислого газа, образующего при пропускании через водную суспензию активированных пород серпентинита и перидотита угольную кислоту HCO_3 (бикарбонатный ион) с водородным показателем (кислой среды) $\text{pH} = 3,5-4,5...$ »

Поправка вносится по просьбе авторов статьи.