

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ФАЗА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИННОВАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА – СИНТЕТИЧЕСКОГО ВОЛЛАСТОНИТА

Рассматриваются теоретические и практические вопросы управления инновациями в условиях новой экономики, основанной на знаниях и информации. Раскрываются проблемы стратегического и инновационного менеджмента отрасли экономики, связанной с материаловедением. Предлагаются варианты классификации и детальная характеристика всех обязательных с нашей точки зрения стадий концептуальной фазы инновационных синтетических материалов, начиная со стратегического маркетинга до опытно-конструкторских разработок. Жизненный цикл инновации рассматривается на примере дефицитного для нашей экономики стабильного β -волластонита.

Ключевые слова: новшество; стадии и этапы жизненного цикла инновации; стеклокристаллические материалы класса «сикамы»; синтетический волластонит, промышленные отходы.

Введение

В реализации концепции устойчивого развития становятся актуальными проблемы комплексного безотходного использования природных ресурсов и вовлечения промышленных отходов в экологически чистые инновационные технологии.

Количество техногенно-промышленных отходов последние сто лет растет по экспоненте. В мире ежегодно только твердых техногенных отходов образуется более 25 млрд т. Из этого количества почти третья часть – более 7 млрд т – приходится на Россию. На территории РФ на начало 1996 г. накоплено в принадлежащих предприятиям хранилищах, накопителях, складах, мусорниках, полигонах, свалках и других объектах 1405 млн т отходов производства и потребления. Площадь, занимаемая местами организованного захоронения отходов, составила 200 тыс. га. В настоящее время широко распространена практика вывоза промышленных отходов в места неорганизованного складирования (несанкционированные свалки), что представляет особую опасность для окружающей среды.

Геоэкологические проблемы техногенных отходов связаны не только с охраной окружающей среды, но и непосредственно с экономическим развитием регионов. Образование отходов служит также показателем нерационального использования природных ресурсов, когда запасы многих из них находятся на грани истощения. Поэтому реабилитация промышленных отходов представляется актуальной природно-ресурсной, природоохранительной, геоэкологической и экономической задачей. Утилизация отходов является не только средством повышения эффективности производства и сбережения ресурсов, но и естественным, обязательным условием восстановления равновесия в биосфере, поскольку позволяет снижать нагрузку на экосистемы и повышать их устойчивость.

В России действует Федеральная целевая программа «Отходы» (первый этап – с 1994 по 2000 г. и второй – с 2001 по 2010 г.). Ее основная цель состоит в обеспечении одного из основных условий экологически безопасного развития страны. Для ее внедрения необходимо: 1) создание нормативной, естественнонаучной и технологической базы при реализации единой государственной политики в сфере обращения с отходами на всех уровнях управления; 2) обеспечение ста-

билизации, а в дальнейшем сокращение и ликвидация загрязнения окружающей среды отходами; 3) выход на экономию природных ресурсов за счет максимального вторичного вовлечения отходов в хозяйственный оборот.

Одним из перспективных направлений инновационного процесса является полная переработка промышленных отходов, включающая извлечение из них цветных, редких и других металлов и создание строительных и конструкционных материалов с высокими эксплуатационными свойствами взамен природных, традиционных материалов и металлов. Реализация этой стратегии позволит существенно уменьшить потребление первичных природных ресурсов [1].

Разработка новых наукоемких технологий производства ряда важных в практическом отношении минералов и материалов – подлинная революция в минералогии и материаловедении. К подобным минералам относится волластонит, который интенсивно внедряется в ведущие отрасли промышленности. Британское общество по изучению керамики заявило, что «если появится дешевый синтетический волластонит, то в ближайшем будущем наступит “эпоха волластонита”» [2].

Для реализации наукоемких технологий необходимо повышать уровень стратегического планирования. Как показывают исследования, на ранних стадиях жизненного цикла объектов формируются стратегические параметры этих объектов. Затраты на нормирование параметров в сотни – тысячи раз меньше трат на разработку, изготовление и эксплуатацию. То есть деньги, вложенные в прогнозирование и оптимизацию стратегических параметров объектов, на последующих стадиях жизненного цикла дают экономический эффект, в сотни – тысячи раз превышающий первоначальные вложения. Для оптимизации стратегических параметров необходимо применять научные подходы и принципы, современные методы и модели анализа, прогнозирования и экстраполяции.

Концептуальная фаза инновации

Для достижения современного технологического уровня развития экономики в нашей стране приоритет должен быть отдан развитию не на основе факторов производства и инвестиций, а на основе инноваций. Эта стратегия вытекает из анализа теории длинных волн в экономике страны. На данном этапе прогнози-

руется выработка и реализация механизмов быстрого превращения новых знаний в наукоемкие технологии и далее до массового производства. Ученые-экономисты сходятся во мнении о том, что теперь инновации должны быть востребованы не отдельными предпринимателями или компаниями, а национальной экономикой в целом. В соответствии с этим современный постиндустриальный этап отличается от предыдущих созданием базы для развития национальной инновационной системы (НИС), и по логике его нужно именовать «инновационной экономикой».

Инновация есть конечный результат внедрения новшества с целью получения экономического, социального, научно-технического или другого эффекта. Новшество – оформленный результат фундаментальных, прикладных исследований, разработок или экспериментальных работ в какой-либо сфере деятельности по повышению ее эффективности.

Для разных новшеств состав первой фазы жизненного цикла инновации варьируется за счет количества этапов, необходимых для определения преимуществ новшества. Так, для внедрения новых механизмов и механизации строительства, по мнению С.С. Дероберти и Н.Б. Васильковской, первая фаза содержит три этапа: фундаментальные научно-исследовательские работы, прикладные научно-исследовательские работы, опытно-конструкторские разработки [3]. Для объектов потребления чаще используют следующие этапы: научные исследования по проверке возможности материализации нормативов конкурентоспособности; разработка принципиальных вопросов развития технологии, товаров; разработка проектно-конструкторской и нормативной документации на новый товар. Р.А. Фатхутдинов в 2006 г. первый предложил для характеристики новшества ввести в первую фазу жизненного цикла этап стратегического маркетинга, который важен для более точного определения необходимости данного товара на данном рынке. Однако остаются переменными многие аспекты этого этапа инновационного менеджмента [4].

Учитывая стратегические концепции менеджмента и исходя из нашего опыта, предлагаем следующую классификацию концептуальной фазы жизненного цикла наукоемких материалов с выделением четырех логически связанных этапов:

- 1) стратегический маркетинг новшества;
- 2) фундаментальные исследования;
- 3) научно-прикладные исследования;
- 4) опытно-конструкторские разработки.

Этап стратегического маркетинга объекта

Инновации справедливо считают залогом устойчивого экономического развития. Вместе с тем их относят к рисковому бизнесу. Думается, что при участии государственных структур, которые должны обладать необходимой компетентностью и выявлять перспективные новшества на основе стратегического подхода, возникнет возможность минимизировать эти риски.

Становление теории инновационного управления в его современном понимании ученые связывают с появлением научно-исследовательских лабораторий, пер-

вых подразделений НИОКР в крупных университетах и промышленных компаниях. Так, в ТГУ усилиями профессоров И.К. Баженова и В.В. Серебренникова в 1960–1966 гг. были созданы НИЛ «Природные изотопы», «Экспериментальная минералогия», а в 1985 г. профессор А.В. Мананков сформировал в ТГУ межвузовскую научно-техническую программу «Комплексное использование природных ресурсов» Минвуза РФ. В этой программе заметное место уделялось вопросам реабилитации промышленных отходов страны. Функционирование программы, как показало время, привело к осознанию необходимости разработки программы стратегического развития, которая реализовала бы принцип «будущее начинается сегодня».

Рассматривая новые технологии производства стеклокристаллических материалов, в первую очередь проводят патентный поиск и изучают специальную литературу. Все это требуется для оценки конкурентоспособности синтетического волластонита.

В настоящее время общий годовой объем производства волластонита в мире достигает 750 тыс. т, в том числе более одной трети составляет синтетический волластонит. Расширение сфер использования синтетического волластонита обусловлено тем, что у него есть целый ряд преимуществ перед природным: высокая степень чистоты, отсутствие включений других минералов, однородность химического состава, реально достижимая низкая стоимость.

С ужесточением экологических требований в части использования асбеста и талька в процессах армирования отмечен рост объемов применения волластонита как материала, заменяющего асбест в производстве щитов, панелей, изделий для плавильных цехов черной и цветной металлургии, тормозных колодок, канализационных труб, строительного гонта, строительной фурнитуры и т.п. Причина этого – механохимическая активность волластонита, которая растет по мере увеличения площади поверхности при уменьшении размеров игольчатых кристаллов в продуктах диспергирования, и высокая биологическая инертность.

Минерал все шире применяется в производстве наполненных термопластов: полипропилена, полистирола, поливинилхлорида, полиэтилена. Благодаря лучшим механическим, электрическим и тепловым свойствам по сравнению с асбестом и тальком волластонит может быть использован в больших количествах (до 30%) от объема композиционных материалов. Полистирол, наполненный волластонитом, становится матовым, что вызывает эффект большой массы. Из подобной смеси можно изготавливать запасные части станков и механизмов, автомобилей, стеновую плиту разнообразных цветов и оттенков. В полипропиленовых композитах волластонит позволяет сочетать экономию затрат на производство с высоким качеством изделий; в поливинилхлоридных композитах благодаря его наличию отмечаются низкая влагоемкость, быстрая диспергируемость, малая усадка, а также возрастание прочности и повышение верхнего предела их температурной устойчивости.

Волластонит с органическим покрытием обеспечивает в качестве наполнителя улучшение механических

свойств технических смол. Удлиненный кристалл волластонита с покрытием, нанесенным химическим путем, имеет тенденцию ориентироваться в направлении потока смолы. Свободный углерод и водородные цепи, отходящие от частиц с покрытием, соединяются со свободными С-Н цепями смолы и образуют химические связи между наполнителем и смолой.

Волластонит, обладающий рядом преимуществ перед другими минеральными наполнителями, широко применяется в производстве пластических масс для вулканизированных и термопластических (формованных и литых) резин, битумной и виниловой плитки, полиэфирных и эпоксидных смол. Композиты с волластонитом в неотвердевшем состоянии характеризуются низким эффектом водяного поглощения, низкой диэлектрической постоянной и низкой вязкостью.

Важной областью использования волластонита является лакокрасочная промышленность. Применение минерала в качестве наполнителя красок перспективно благодаря его цвету, иглообразной форме зерен и низкому поглощению масла. Материал обладает ярким белым цветом, что позволяет получать высококачественные белые и яркие чистые цветные краски, особенно в пастельных тонах. Игольчатая форма зерен волластонита придает краске способность распределяться ровно по поверхности, а низкий коэффициент масляного поглощения (20–26 мл на 100 г) позволяет уменьшить расход связующего вещества и достичь высокой степени концентрированности пигмента. Сверхтонкий волластонит мокрого помола применяется при изготовлении специальных латексных красок, которые используются для нанесения отметок на проезжей части дорог [5].

В США и других странах накоплен большой опыт по применению волластонита. Минерал используется в производстве специальной радиокерамики, фаянса, фарфора, изоляторов с низкими диэлектрическими потерями, предметов санфаянса, облицовочных кирпичей, специальных цементов для керамики и абразивов, стекла; широко применяется в качестве наполнителя в производстве бумаги, красок, пластмасс, лаков, резины, изоляционных материалов, клейких веществ, сухой штукатурки, а также для обмазки кокилей в металлургическом производстве и т.д.

На западе использование волластонита в различных отраслях экономики распределяется следующим образом (%): керамическая промышленность – 6; производство пластмасс, красок и отделочных материалов – 27; изоляционных керамических материалов для строительства – 21; литейное производство – 6; бумаги – 40. На мировом рынке минерал представлен 8 сортами, отличающимися габитусными характеристиками и составом.

До сих пор практически весь волластонитовый материал в нашу страну поступает из-за рубежа. Создание центров промышленности синтетических материалов особенно актуально для обширных пространств Томской области и всего Сибирского региона, которые обладают значительными энергетическими ресурсами, недефицитным минеральным сырьем и огромными запасами промышленных отходов.

Развитие общества немыслимо без участия минералов и наук, предметом изучения которых они являются. Общее количество установленных и изученных минералов в природе по сравнению с 3 млрд органических видов весьма ограничено и едва превышает 8 тысяч. К началу третьего тысячелетия пришло осознание физической ограниченности минеральных и других природных ресурсов планеты Земля. Отсюда разработка новых технологий производства ряда важных, с нынешних позиций, минералов – актуальная проблема. Природа создает запасы минералов в течение геологического времени, нередко в течение миллионов лет, а ученые сегодня способны осуществлять этот процесс за считанные часы.

Эпоха космических исследований тоже немыслима без достижений физической геохимии силикатных и алюмосиликатных систем, экспериментальной и технической минералогии и петрографии. Законы физической химии стали применяться в минералогии и петрографии с конца XIX в., но главные успехи, связанные с применением законов гетерогенных равновесий в минералогии и особенно в минералогии силикатов, достигнуты во второй половине XX в. В настоящее время на технологических линиях производится более 75 искусственных минералов. Сегодня известно 435 минеральных видов силикатов, 30 типов конденсированного кремнезема, более 1 500 отдельных силикатов, их разновидностей и аналогов, относящихся примерно к 900 системам с различным числом компонентов.

Бинарные силикатные системы изучены примерно на 90%, для них установлены диаграммы состояния. Тройные силикатные системы, количество которых в 50 раз больше двойных, изучены на порядок слабее. В силикатах, как и в других соединениях, максимальные величины температур плавления и изобарного потенциала понижаются с увеличением числа компонентов, вводимых в виде оксидов [6].

С увеличением в системах числа компонентов до 6–8 происходит скачкообразное увеличение числа силикатов (до 5,4⁶), образуемых из 100 стабильных оксидных форм химических элементов и оксида кремния. Экспериментально установлено, что силикаты относятся к наиболее стабильным неорганическим соединениям. Выявлены приближенные пределы их стабильности в координатах температура – давление (Т – Р). Высокая стабильность и широкое распространение силикатов в земной коре и мантии Земли, на Луне, в метеоритах, тектитах и других космических телах делают их перспективными для фундаментальных и прикладных исследований [7, 8].

В США запатентован способ изготовления термостойкого листового материала из сырьевой композиции, в состав которой входят (вес. %): волластонит – 50–60, асбест – 10–40, органические или неорганические вяжущие (портландцемент, глиноземистый цемент, глина, бентонит, силикагель, крахмал, ПВС, латексы и др.) – 2–10. Листы изготавливаются из водной суспензии на бумагоделательных машинах, толщина листов 6 мм, они могут применяться при температурах выше 1000°C [4].

Другой патент [9] на состав и способ изготовления автоклавных панелей на основе волластонита, отличающихся повышенной тепло- и огнестойкостью, механической прочностью и технологичностью получен тоже в США. Эти свойства достигаются без использования асбеста. В исходной смеси компонентов содержится еще 20–50% кварцевого песка (диатомита, ферросилициевой пыли и т.п.), 20–50% известкового материала (гашеная или негашеная известь, карбидные отходы, цемент и т.п.), 2–10% волокнистой органики (древесной, бумажной, целлюлозной или льняной).

Существует французский патент [4] на способ изготовления конструкционных и строительных материалов, предусматривающий получение водной эмульсии тонкомолотого волластонита и изготовление из нее теплоизоляционных материалов путем формования и сушки без обжига. Изделия обладают высокими механическими свойствами при малой плотности (до $0,3 \text{ г/см}^3$); используются в качестве отличных теплоизоляционных материалов; из-за отсутствия стадии обжига сохраняют размеры, полученные при формовании, и могут иметь весьма сложную конфигурацию.

Благодаря научной прозорливости основоположника сибирской школы минералогов и геохимиков профессора И.К. Баженова, в Томском госуниверситете начиная с 1972 г. ведутся фундаментальные и практические исследования в области физической геохимии силикатных систем для создания научных основ минералогенеза, рудо-петрогенеза и разработки новых минеральных материалов с заданными структурами и свойствами. В рамках этого научного направления в первую очередь нами решались такие задачи: 1) комплексное изучение физико-химических свойств расплавов (вязкость, теплопроводность, электропроводность и т.п.), нано- и микроструктурных превращений и морфокинетических особенностей фаз в зависимости от химического состава и парциального давления кислорода и температуры; 2) изучение энергетических эффектов, механизмов и кинетики фазовых превращений, включая жидкостную несмесимость, зародышеобразование и рост кристаллов; 3) разработка многофакторных кинетических моделей процессов кристаллизации и структурообразования.

Экспериментальные исследования условий образования силикатов выявили ряд особенностей, не вписывающихся в ставшие уже традиционными рамки термодинамических закономерностей. Мало того, что вероятностно-статистический подход не дает ключа к пониманию механизмов зарождения и развития кооперативной структуры минералов, он также малоприменим для описания аномально высоких скоростей диффузии и кристаллизации, реально наблюдаемых в опытах. Кроме того, выявлены и значительные трудности в описании энергетического баланса процессов как высокотемпературных, включающих расплавную фазу, так и низкотемпературных, происходящих в природных гипергенных условиях.

Не умаляя значения термодинамики для современного этапа изучения минералогенеза, следует отметить ее естественную ограниченность. Именно поэтому в конце XX в. возник целый ряд новых научных направлений, ориентированных на решение возникших проти-

воречий: неравновесная термодинамика, макрокинетика, синергетика. В 1996 г. сотрудниками НИЛ Кинетики минералообразования и кристаллофизики ТГУ предложен новый подход к исследованию проблем структурирования вещества – голографическая модель, основанная на волновой теории. Используя эту модель, удалось объяснить целый ряд явлений природного и техногенного минералогенеза, аномальных с традиционных точек зрения, и предложить ряд прогностических схем, по-новому раскрывающих механизмы природного и технического минералогенеза, в том числе применительно к принципиально новым способам и технологиям получения волластонита и других силикатов с перспективными свойствами.

Этап научно-прикладных исследований

В научно-исследовательской лаборатории кинетики минералообразования и кристаллофизики Томского государственного университета создан Банк данных промтехотходов предприятий бывшего СССР. По результатам изучения минерального состава и геохимических особенностей разработаны петрогеохимическая и технологическая классификации минерального сырья техногенных месторождений, предложены низкоэнергетические и экологически приемлемые способы и технологии полной переработки промышленных отходов с попутным извлечением из них благородных, редкоземельных и других металлов. С позиции современных научных представлений традиционные стеклокристаллические материалы обладают рядом недостатков: высокой энергоемкостью, низкой скоростью кристаллизации, отсутствием возможности их многофункционального использования, а также экологической неприемлемостью из-за содержания в них токсичных добавок, минерализаторов, например соединений фтора.

Для разработки промышленного производства искусственного волластонита были изучены минералогический состав и объемы производства промышленных отходов, создан Банк данных промышленных отходов бывшего СССР, наиболее важных в экономическом и экологическом аспектах. Объекты техногенного минерального сырья, накопившиеся на промышленных предприятиях Томска, Новокузнецка, Красноярска, Барнаула, Ачинска, исследованы наиболее полно [10, 11]. По результатам химического анализа изученного техногенного сырья разработана петрогеохимическая классификация промышленных отходов. Так, шламы глиноземных и фосфорных предприятий могут найти применение для получения высококачественных наиболее чистых волластонитовых сикамов с низким содержанием железа. Металлургические шламы с минимальными подшихтовками пригодны для производства износостойких геденбергитовых сикамов или еще более ценных диопсид-авгитовых сикамов. Составы, после доизвлечения редких и других металлов, в комбинациях друг с другом можно использовать для получения мономинеральных цепочечных как волластонитовых, так и пироксеновых материалов.

Первый петрохимический класс техногенного сырья представлен отвальными отходами химико-металлургических предприятий фосфорного, глиноземного и

других производств. В него объединены весьма близкие по составу главных ингредиентов шламы Ачинского и Пикалевского глиноземных комбинатов, шламы Красноярского химического завода, а также шлаки и шламы фосфорного производства.

Второй петрохимический класс составляют ваграночные шлаки металлургических комбинатов и заводов. По химическому составу они соответствуют метасиликату кальция с заметным содержанием глинозема и оксидов железа. Количество оксида магния не превышает 2,0 вес.%, а щелочей – 1,0 вес.%. В качестве элементов-примесей присутствуют в сверхкларковых количествах Hg, Ti, Cr, V, Ba, Co, Ni, Sn, Sr, Zr, Cu, Mo, Ga, Hf, Ta, Sc и S. Кроме того, в белитовых шлаках содержатся лантаноиды и актиноиды (около 380,0 мг/кг). Присутствие такого спектра металлов определяет особую ценность шлама как объекта комплексного безотходного использования.

Третий петрохимический класс образуют доменные металлургические шлаки и отходы обогащения Железногорского месторождения. По соотношению основных литофилов они приближаются к недонасыщенным кремнеземом железосодержащим метасиликатам пироксенового состава (авгиту, геденбергиту и диопсиду). Геохимия этих сырьевых ресурсов отличается от предыдущего класса еще большим разнообразием.

Четвертый петрохимический класс вторичного минерального сырья составляют отходы переработки каменного угля в ТЭЦ и ГРЭС. Химический состав весьма напоминает предыдущий класс. Главное отличие заключается в повышенной концентрации глинозема (до 27,0 вес.%), для извлечения которого уже существует несколько известных технологий. Геохимия зол и шлаков от сгорания каменного угля настолько разнообразна и привлекательна, что по этому критерию они должны рассматриваться как суперконцентрат для комплексного извлечения черных, цветных, благородных и других металлов. Только содержание редкоземельных элементов в них составляет примерно 650,0 мг/кг. В США, Японии и других развитых странах эти элементы (преимущественно цериевой группы) извлекаются в промышленных масштабах во все возрастающих объемах. Освобожденная от металлических фаз силикатная фракция пригодна для получения экологически чистых многофункциональных материалов.

Пятый петрохимический класс включает промышленные отходы обогащения и переработки уникальных нефелиновых руд месторождений Сибири, отходы обогащения ПО «Апатит» и промышленные отходы электролампового производства. Их общей особенностью является возрастание роли щелочных металлов и повышенное содержание оксидов железа, а также глинозема.

Шестой петрохимический класс представлен промышленными отходами в виде пиритных огарков, которые почти на 80 вес.% состоят из оксидов железа с примесью кремнезема и глинозема.

Седьмой петрохимический класс техногенных месторождений включает многотоннажные отходы в виде формовочного кварцевого песка металлургических заводов и пыли уноса ферросплавного завода. В соответствии с названием в них доминирует кремнезем, сильно загрязненный оксидами железа. Другие литофиль-

ные элементы присутствуют в незначительных количествах.

Коррекция химического состава основного сырьевого компонента, которым в нашем случае являются силикатные промотходы или суглинок, может быть осуществлена с помощью одного или нескольких других природных минералов (или пород). Для корректировки могут быть использованы и промотходы. Например, хорошие материалы получаются из металлургических шлаков, коррекция которых осуществляется с помощью горелой формовочной земли, являющейся обычно отходом того же производства, что и шлаки.

После разработки оптимальных технологических параметров для каждого исходного состава были проведены серии высокотемпературных экспериментов с целью получения образцов для изучения эксплуатационных свойств, выявления эстетических возможностей сикамов, отформованных и закристаллизованных различными способами, а также выбора оптимального способа получения тонкодисперсного порошка.

Выбор сырьевых композиций является в технологии стеклокристаллических материалов важным, но не исчерпывающим этапом. Большое значение имеет поиск оптимальных кинетических параметров приготовления и термообработки стекла. Получение материалов с удовлетворительными свойствами поэтому является в значительной мере результатом не только длительных экспериментов по подборке компонентов и их соотношений, но в какой-то степени – удачи и интуиции.

Кинетика кристаллизации стеклокристаллических материалов пироксенового и волластонитового состава – сложный процесс, который характеризуется скоростью зародышеобразования и роста кристаллов. Оба эти процесса, а также структура зародышей и кристаллов зависят от ингредиентного состава, температур фазовых переходов и скоростей их достижения.

Полученные данные позволили оптимизировать технологические параметры синтеза пироксеновых и волластонитовых сикамов с заданным химическим составом в восьмерной системе $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ и требуемыми физико-химическими свойствами. Результаты исследований использованы для разработки новых (экстремальных) технологий производства синтетического волластонита, которые отличаются от существующих тем, что скорость кристаллизации в них возрастает в 100–200 раз, т.е. упрощается, удешевляется и ускоряется технологический процесс в целом [10, 11].

Корректно составленная сырьевая композиция для производства кристаллизующихся силикатных стекол – не единственное условие успешной реализации материала. Не менее важным является правильный выбор кинетических параметров выработки (формования) стекла и последующей его термообработки [7]. Несмотря на наличие результатов дифференциально-термического анализа стекла, окончательный выбор параметров диктует технологическая практика. Поэтому представляет интерес разработка такой методики, которая бы максимально приближалась к производственным технологическим условиям.

В течение ряда лет используется методика определения кинетических параметров кристаллизации сили-

катных стекол, позволяющая вычленив в технологическом процессе кристаллизации изотермическую и нестационарную компоненты процесса [6]. Новый кинетический подход разработан на полупромышленной технологической линии, однако он, как показала практика, весьма эффективен и при модельных экспериментах.

Разработанная методика позволила не только с максимальной точностью моделировать и оптимизировать технологический процесс, но и открыть новый информационный канал в изучении механизмов структурообразования в силикатных стеклах. Благодаря применению разнообразных физических методов в изучении продуктов кристаллизации в кинетических сериях удалось выявить новый кристаллический полиморф волластонита, названный трансволластонитом, проследить ход инверсии в полиморфных модификациях, а также собрать значительный материал, отрицающий заметную роль диффузионных механизмов в кристаллизации силикатных стекол [7, 8].

Таким образом, в процессе плавления шихты не происходит полная диссоциация окислов, сохраняются структуры, имеющие генетическое значение для последующей эволюции вещества при фазовых переходах стекло – кристалл. Результаты изучения синтезированных стекол с помощью электронной микроскопии показывают широкие пределы их микрогетерогенности, обусловленные особенностями минерального состава, исходных компонентов шихт [11].

В технологическом плане проведенные исследования являются научной основой для проектирования скоростных и весьма эффективных (даже при малых мощностях) промышленных технологических линий производства новых материалов класса сикамов (товарный знак № 92355).

Мономинеральные волластонитовые сикамы, по сравнению с известными полиминеральными шлакоситаллами, обладают более высокими физико-механическими свойствами, так как в последних создаются в процессе термической обработки дополнительные напряжения на границах фаз, приводящие к снижению прочности изделий. Другое преимущество связано с многофункциональностью мономинерального волластонитового сикама. В виде плиток он используется в качестве эффективного заменителя природного облицовочного камня. В тонкодисперсном состоянии, благодаря биологической инертности и игольчатому габитусу кристаллов, он применяется как модифицирующий наполнитель во всех отраслях современного материаловедения.

Вместе с тем разработанные на основе новых фундаментальных идей сикамы позволяют повысить в 100–200 раз скорость кристаллизации и тем самым сократить время технологического цикла, удешевить производство, сделать его более производительным и менее энергоемким по сравнению с существующими.

Этап опытно-конструкторских разработок

Волластонитовые материалы и другие мономинеральные сикамы могут использоваться для производства изделий путем прямого формирования горячего стекла (литье, прессование) с последующей термообра-

боткой, а также по порошковой (керамической) технологии, называемой технологией «гранулят». В последнем случае приготавливают из стекла шликер, формируют изделия известным в керамической промышленности способом, затем спекают и кристаллизуют.

Для материалов волластонитового состава характерны высокая прочность, стойкость к истиранию и растворению в кислотах и щелочах. По физико-механическим свойствам разработанные материалы в 4–5 раз превосходят природные облицовочные камни типа мрамора, гранита и в 2 раза – зарубежные аналоги.

Плотность сикамов волластонитового состава меняется в пределах 2,06–2,95 г/см³. Предел прочности на изгиб в зависимости от исходного состава колеблется в весьма широких пределах – от 450 до 1700 кг/см³. Прочность на сжатие изменяется от 600–1600 до 5 900 кг/см³, т.е. выше, чем у природных облицовочных камней. Прочность на абразивный износ также характеризуется очень высокими показателями – от 0,01 до 0,024 г/см². Химические свойства: водостойкость составляет от 0,22 до 0,61 см³/г, кислотостойкость – от 61 до 82%.

В отличие от известных шлакоситаллов и сигра, эти материалы являются экологически чистыми, не содержат добавок токсических элементов типа фтора и фосфора. В целом они соответствуют ГОСТ Р ИСО 14001 – 2007 [12].

Разработанные составы опробованы по технологии «гранулят»; изготовлено более 10 тыс. м² художественно-декоративных материалов в виде облицовочных плит самых разнообразных цветов и рисунков размером 300×300×15 мм.

При обработке тонко измельченного волластонита (от 325 меш до 1 мкм) кислотой можно получить пену, застывающую при охлаждении. Приведем один из способов ее получения: волластонит с размером зерен 325 меш или меньше смешивают с легкой фракцией гидроксида алюминия и фосфорной кислотой, затем эту смесь подвергают быстрому перемешиванию в машине пенообразования, аналогичной аппарату для приготовления полиуретана. До момента отвердевания пена обладает текучестью, достаточной для того, чтобы быть помещенной в сосуд, форму или лакировочную матрицу. Одновременно эта пена обладает достаточной вязкостью для того, чтобы удерживать пузырьки воздуха до момента отвердевания. Процесс отвердевания начинается через несколько минут после того, как пена готова, и в основном заканчивается в течение 60 мин. Хотя это не обязательно, можно применять подогретую вязкую массу до 200°C, что ведет к упрочнению пены и повышению предела тугоплавкости и огнеупорности до 1093°C.

Гранулированное стекло волластонитового состава может также найти широкое применение в качестве модификатора керамических масс либо их полного заменителя в традиционных технологиях.

Для получения ультрадисперсного порошка, пригодного в качестве модифицирующего биологически инертного наполнителя, использовали традиционные способы мокрого помола в фарфоровых барабанах с уралитовыми шарами, а также дезинтегратор ДЕЗИПМ-1Ф научно-производственного объединения «Дезинтегратор» (г. Таллин). Сравнительный анализ показал, что

именно с помощью дезинтегратора можно получать более качественный игольчатый волластонит-наполнитель. Полученный с помощью дезинтегратора тонкодисперсный волластонит прошел успешные испытания в лабораторных и опытно-заводских условиях в качестве модифицирующего наполнителя резинотехнических изделий (кабельная резина, шины, обувь), линолеума, бетонов, растворов, полипропилена и т.п. [13–15].

Проведены опытно-заводские технологические испытания по производству из промышленных отходов многофункциональных конструкционных и строительных стеклокристаллических материалов. Полученные результаты послужили научно-технической основой становления научного направления и научной школы, что нашло отражение в системе Минвуза страны в организации двух научно-технических межвузовских программ: «Комплексное использование природных ресурсов – Природокомплекс» (1985 г.) и «Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды и экологии человека» (1991 г.).

Заключение

Представлена классификация концептуальной фазы жизненного цикла синтетического волластонита с выде-

лением четырех этапов: стратегический маркетинг, фундаментальные исследования, научно-прикладные исследования, опытно-конструкторские разработки.

Детально охарактеризованы все этапы, необходимые для обоснования новшества и его внедрения на рынок в сегмент мономинерального сикама β -волластонитового состава.

Социальный, экономический и экологический эффекты от внедрения этих материалов в развивающейся инфраструктуре, в частности в Томской области и Западной Сибири, более чем очевидны, особенно если учесть технологические особенности разработок, а также ускоренные темпы потребностей в современных материалах, удовлетворяющих требованиям ресурсосбережения.

При реализации стратегии в сфере инновационной экономики государство должно начать активно проводить политику в области регулирования направлений создания научных новшеств, а также рынка инноваций, оперативно реагируя на изменение текущих ситуаций. Необходимость подобных перемен рассмотрена на примере новшества – синтетического метасиликата, реализация которого имеет далеко идущие перспективы для экономики страны и может занять надлежащий сегмент мирового рынка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Report of Workshop on Country-Specific to Promote Cleaner Production // Industry and Environment Program Activity/ Center UNEP/ Paris, France. 17–19 September, 1991.*
2. *Петров В.П.* Волластонит. М.: Наука, 1982. 112 с.
3. *Дероберти С.С., Васильковская Н.Б.* Управление инновационными процессами при механизации строительства. Томск: Изд-во ТГАСУ, 1999. 176 с.
4. *Фатхутдинов Р.А.* Инновационный менеджмент: учеб. для вузов. 5-е изд. СПб.: Питер, 2006. 448 с.
5. *Power T.* Wollastonite performance filler potential // *Industrial Minerals*. 1986. Vol. 220. P. 19–34.
6. *Локтюшин А.А., Мананков А.В.* Кинетические особенности фазовых превращений в поле волластонита. Природокомплекс Томской области. Томск: Изд-во ТГУ, 1990. С. 53–56.
7. *Локтюшин А.А., Мананков А.В.* Стабильные и метастабильные структуры синтетического волластонита // *Материалы III совещ. «Минералогия Урала»*. Миасс, 1998. Т. 2. С. 3–5.
8. *Мананков А.В., Шарпов В.Н.* Кинетика фазовых переходов в базитовых расплавах и магмах. Новосибирск: Наука, 1985. 199 с.
9. *Мананков А.В., Горюхин Е.Я., Локтюшин А.А.* Волластонитовые, пироксеновые и другие материалы из промышленных отходов и недефицитного природного сырья. Томск: Изд-во ТГУ, 2002. 166 с.
10. *Мананков А.В.* Основы технической минералогии и петрографии. Томск: Изд-во ТГУ, 1979. 193 с.
11. *Мананков А.В., Яковлев В.М., Гудошникова В.С. и др.* Минеральное сырье техногенных и природных месторождений для получения стеклокристаллических материалов. М., 1994. 183 с. (Деп. ВИНТИ № 1514-В-94 от 17.06.94).
12. ГОСТ Р ИСО 14001 – 2007 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. 29 с.
13. *Мананков А.В., Яковлев В.М.* Нетрадиционные строительные материалы класса сикамов. Строительные материалы. 1995. № 9. С. 16.
14. А.С. 1331827 СССР. Способ получения волластонита. Мананков А.В., Горюхин Е.В., Хахлов В.В. и др. Заяв. 01.04.86. Опубл. 23.08.87. Бюл. 1987. № 31.
15. А.С. 1705741 СССР. Способ определения параметров кристаллизации силикатных стекол. Мананков А.В., Локтюшин А.А. Заявл. 14.03.90. Зарегистр. 15.09.91.

Статья представлена научной редакцией «Экономика» 4 февраля 2013 г.