

## **Физические явления в технологии современных материалов**

Сафронова Т.В.

*Посвящается моим учителям с благодарностью*

Наше представление о физике по большей части складывается на уроках в школе. Два поезда, несущихся навстречу друг другу, яблоко, падающее на голову, жидкость, карабкающаяся по капилляру. Со временем формулы забываются, и остаются вокруг нас явления, которые изучаются физикой. Но для нас это лишь обстоятельства, без которых мы не представляем своей жизни: день и ночь, тепло и холод, ветер, звуки музыки. Многие возможности и комфорт связаны с использованием физических законов и явлений. Телевидение, средства связи, автомобили, поезда, самолеты стали обычными. Мы привыкли к достижениям цивилизации. Вряд ли лыжника интересует коэффициент трения, тогда как подходящая мазь для лыж, как правило, бывает припасена. И едва ли, качаясь в лодке на воде, мы думаем о том, что волна переносит энергию, а не вещество.

Наше отношение к физике неизбежно связано с личностью учителя, человека, который первым представлял нам предмет. Мне повезло. Мой первый учитель физики\* был бесконечно влюблен в свой предмет, знал его и мог интересно преподнести, был строг и требователен. А последнее немаловажно в точных науках, изучение которых невозможно без соблюдения дисциплины. Экзамен по физике в выпускном классе школы означает для многих прощание с этим интересным предметом. Для тех же, кто выбирает техническое, естественнонаучное образование, изучение физики может продлиться еще несколько лет в институте в рамках таких предметов как строение вещества, физика твердого тела, ядерная физика, термодинамика, физическая химия, теоретическая механика, сопротивление материалов и т.д.

Для некоторых специальностей физика – знание явлений и закономерностей – становится основой успешного существования в профессии. Моя специальность – неорганическое материаловедение. Это

современная, модная специальность. И наибольшая притягательность этой специальности в том, что она дает ощущение могущества в отношении создания новых материалов с уникальными свойствами.

При этом материаловедение не менее древняя специальность, чем журналистика. По крайней мере, в ходе многочисленных археологических раскопок по всему миру извлечено огромное количество изделий и осколков из металла, стекла и керамики, подтверждая не только существование человека, но и определенный уровень развития технологий и материаловедения.

Применение традиционных и новых материалов для реализации самых фантастичных проектов (например, мобильной связи) – это реальность нашего дня. Потребность общества в новых материалах растет, и их разработка не останавливается ни на минуту.

В материаловедении трудно выделить главенствующую роль физики или химии. Химические реакции – результат энергетических свойств атомов, молекул и ионов. Образование структуры нового вещества – стремление атомов или ионов к энергетически более выгодному состоянию. Для осуществления некоторых химических превращений используют сверхвысокие давления или температуры, достижение которых невозможно без знания законов физики. Для исследования свойств материалов используют приборы, созданные на основе передовых физических идей. Современные приборы с большими исследовательскими возможностями работают благодаря новым высокотехнологичным материалам.

Существует великое множество созданных человеком материалов, которые применяются в быту, при строительстве или на производстве. Каждый из нас в жизни встречается с пластиками, металлами, стеклом и керамикой. Для такой встречи достаточно окинуть комнату взглядом. Общим при получении этих материалов является использование сырья в раздробленном состоянии, а также применение термообработки. При

---

\* Дубинин Сергей Яковлевич – учитель физики Бытошской средней школы (Брянская область)

получении изделий из пластмасс, металла или стекла следует получить расплав, из которого можно формовать изделия. Температуры плавления для пластиков – невысоки, а для металлов и стекол – значительные. При получении керамики, изделий порошковой металлургии необходимо сформовать изделие из порошка, а затем нагреть до высокой температуры для придания монолитности. Химическая природа материала важна, однако раздробленный материал (порошок) становится монолитным изделием в результате физических процессов.

Моя работа связана с созданием технологий новых материалов, а именно керамических материалов. Читая в 2003-2004 курс “Технология и материаловедение художественной керамики” и осмысливая заново то, что я изучала много лет, я пришла к выводу, что наряду с названием “Химическая технология керамики” (так звучит запись в моем дипломе\*), должно быть место и для названия “Физическая технология керамики”. При получении керамики обязательно встречаешься с процессами разрушения материала и капиллярными явлениями на стадии подготовки исходной смеси, агрегации и смачивания на стадии введения связующего, трения при уплотнении во время формовании, испарения при сушке, диффузии, плавления и кристаллизации при обжиге.

Для лучшего понимания процессов, протекающих при получении керамики, необходимо немного рассказать о дисперсных системах<sup>†</sup>, поскольку получение материалов любого поколения, в том числе завтрашнего дня – это образование и развитие дисперсных систем.

Мы живем в мире дисперсных систем. Зная, что вещество может существовать минимум в трех агрегатных состояниях, приведем примеры дисперсных систем из повседневной жизни. Молотый кофе и пыль (твердое раздроблено в газообразном), пористый шоколад (газообразное – в твердом); туман (жидкое – в газообразном); пена (газообразное в жидком); размокшая в воде глина (твердое – в жидком); крем (жидкое – в жидком); шоколад с

---

\* Факультет химической технологии силикатов РХТУ им.Д.И.Менделеева

<sup>†</sup> Подробнее в книге А.Д. Зимона «Занимательная коллоидная химия».- М.:Агар, 2002.-168 с.

дробленным орехом, сплавы и большинство композиционных материалов (твердое – в твердом). А вот пористый шоколад с орехами – более сложная дисперсная система, так как в твердом веществе раздроблено и газообразное и другое твердое вещество.

При получении материалов имеют дело с системами, в которых раздроблена твердая фаза. Содержание раздробленной фазы, размер и форма частиц – характеристики дисперсной системы. Содержание раздробленной твердой фазы меняется в процессе получения материала. Форма частиц может быть самой разнообразной, в том числе шарообразной, волокнистой, пластинчатой (рис. 1). И вот уже войлок и книга становятся примерами дисперсных систем.



Рис.1. Структура  
необожженной глины.

трудно различить отдельную каплю, а когда идет дождь – можно. Разный размер – разные свойства.

Другой замечательной характеристикой, связанной с размером частиц, является площадь поверхности. Чем меньше размер частиц при одинаковом весе материала, тем больше удельная поверхность.

Огромная поверхность – причина значительной роли в жизни дисперсных систем таких явлений как адсорбция (способность удерживать на своей поверхности молекул газа или жидкости) и адгезия (прилипание). При формировании монолитного тела из раздробленных частиц не обойтись без адгезии. Можно вспомнить интригующий опыт периода детской песочницы, как из песка лепились всевозможные изделия. Смоченные водой частицы прилипали и удерживались друг около друга благодаря смачиванию, адгезии и силам поверхностного натяжения.

При малом размере частиц система обладает значительной поверхностной энергией, которую стремится снизить, например, за счет агрегации, т.е. самопроизвольного укрупнения частиц. Для малых капель

жидкости процесс объединения называется коалесценцией. В свободnodисперсных системах частицы могут перемещаться друг относительно друга (например, в порошке, в суспензии). Заготовки после формования и после обжига – примеры связнодисперсных систем.

Основная цель подготовки исходного порошка – достижение определенной дисперсности (размера частиц) и необходимой однородности. Если используют природное сырье, то подвергают его специальной обработке. Если хотят получить материал специфического состава или очень чистый, то используют химический синтез.

Чтобы получить материал в раздробленном состоянии, его следует измельчить. Поскольку для измельчения используют удар и истирание, важны такие физические свойства материала как прочность и твердость. Чтобы результатом стал материал с превосходной микроструктурой и свойствами, необходимо использовать однородный порошок с очень малым размером частиц. И тогда вместо дробления используют методы конденсации, когда очень мелкие частицы получают из еще более мелких, в том числе частиц молекулярных размеров.

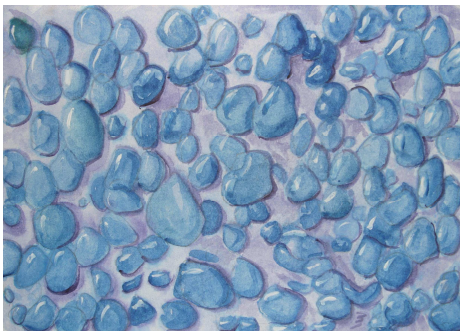


Рис.2. Структура материала  
после обжига

Для формования используют порошок и связующее, которое смачивает и склеивает частицы. Связующим может быть вода или раствор полимера. Осталось лишь приложить давление (значительное при прессовании, менее значительное при пластическом формовании и еще меньшее в случае формования литьем).

Заготовка после формования не обладает значительной прочностью. Кто лепил из глины, тот знает, что высушенное изделие легко сломать. Для упрочнения изделие обычно обжигают. Помимо процессов термического разложения и образования новых веществ, при нагревании происходят самые различные физические процессы: испарение остаточной влаги, перестройка

кристаллической решетки (полиморфный переход), диффузия, плавление и, следовательно, смачивание и склеивание расплавом не расплавившихся частиц. Пример микроструктуры, состоящей из застывшего расплава и оплавившихся зерен кристаллической фазы можно видеть на рисунке 2. Именно так, за счет диффузии или за счет образования расплава, а когда и благодаря обоим этим процессам при высокой температуре происходит один из самых загадочных процессов в технологии керамики – спекание. На рисунке 3 представлена оригинальная трактовка процесса спекания и отражены стадии припекания, увеличения площади контакта и образования монолита.

В результате спекания заготовка уменьшается в размерах и приобретает прочность. При последующем охлаждении коэффициент диффузии уменьшается, вязкость расплава снижается, расплав застывает или кристаллизуется. Таким вот нехитрым способом, используя обычные (или удивительные?!) физические явления, получают керамику древнюю и суперсовременную.

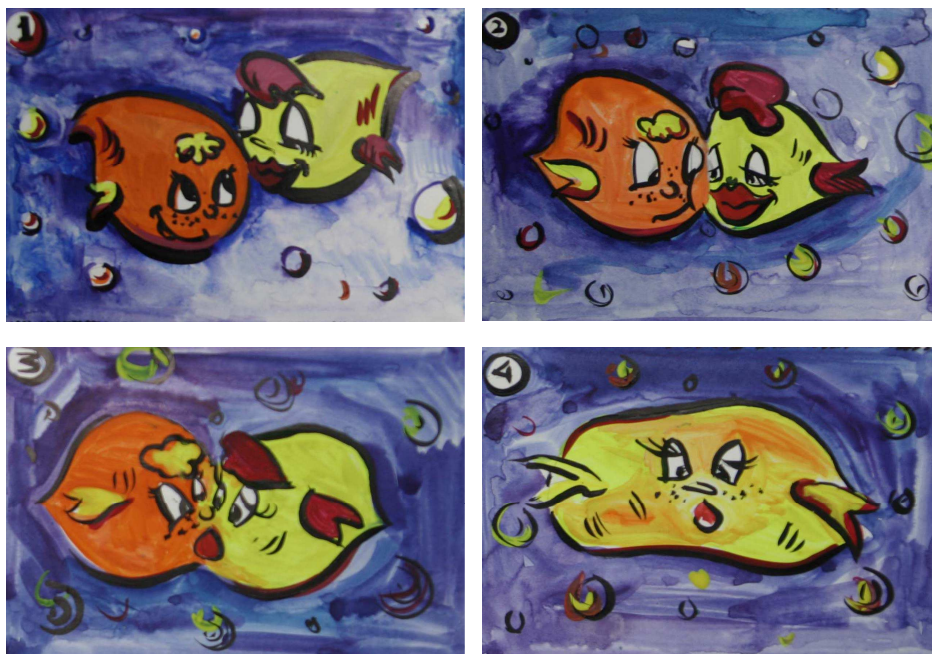


Рис.3. Стадии спекания

При изготовлении материала формируют его конечную структуру так, чтобы частички фаз имели необходимый размер и взаимное расположение, обеспечивая своим сочетанием необходимые функциональные свойства.

Для изготовления носителей информации используют современные материалы - мезопористые нанокомпозиты, в которых функциональная фаза с магнитными свойствами распределена в матрице непроводящей фазы. Это пример системы твердое в твердом. Более древним примером композиционного материала является фарфор (рис. 4). В этом материале иглы кристаллического муллита армируют аморфную фазу стекла. Благодаря своей структуре фарфор обладает высокой термостойкостью (устойчив к резкому нагреву и охлаждению) и прочностью.

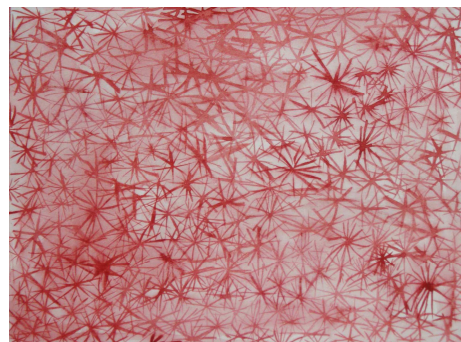


Рис.4. Структура фарфора

Рассматривая материал как дисперсную систему, легко объяснить такие замечательные декоративные эффекты в керамике, как глушеная или непрозрачная глазурь (рис.5), авантюриновая глазурь (рис.6) или глазурь «кракле» (рис.7). Следует отметить, что в этих случаях раздробленность одной фазы в другой достигается с помощью специальных режимов



Рис.5. Структура глазури,  
глушеной капельной  
ликвацией

термообработки. При получении непрозрачной глушенной глазури используют явления ликвации, т.е. разделение одной жидкости на две несмешивающиеся. В этом случае после охлаждения твердая аморфная фаза распределена в другой твердой аморфной фазе. При получении авантюриновой глазури используют образование и рост кристаллов из расплава, а после охлаждения получают

распределенную твердую кристаллическую в твердой аморфной фазе. При получении эффекта «кракле» используют образование трещин вследствие не совпадения коэффициентов линейного расширения глазури и основы при охлаждении. В результате твердая кристаллическая или аморфная фаза в виде прожилок распределена в твердой аморфной фазе.

Способы достижения декоративных эффектов, возможно, были открыты случайно. Принципы, лежащие в основе получения перечисленных выше декоративных эффектов могут быть использованы при разработке современных композиционных материалов. При создании современных керамических материалов формирование структуры проводят целенаправленно.

Художественная, строительная керамика известны давно. Другие материалы (легированные металлы, сплавы, современная техническая керамика и др.) появились недавно. Одна из версий развития материаловедения основана на характеристике исходных материалов\*. На первом этапе материалы получали из природного сырья, на втором – из очищенных и обогащенных природных материалов, на третьем этапе – материалы получают из специально синтезированного сырья, которое обладает высокой чистотой, высокой дисперсностью, в котором каждая отдельная частица обладает особыми свойствами.



Рис.6. Структура  
авантюриновой глазури

Особые свойства у частицы известного вещества возникают на стадии синтеза. Такие свойства могут быть связаны с повышенной дефектностью кристаллической структуры и с повышенным количеством атомов или ионов на поверхности по сравнению с теми, что находятся внутри материала. Возникающие при этом силы поверхностного натяжения могут настолько сильно сжимать атомы и ионы внутри, что мы можем по проявляющимся свойствам даже не узнать синтезированное вещество. Примером может служить вода в капиллярах глины: температуры замерзания такой воды составляет минус 70°C, тогда как все знают про 0°C.

---

\* статья «Химия и материалы» в книге Э.Г.Раков «Вещества и люди»: заметки и очерки о химии. - М.:ИКЦ»Академкнига», 2003.- 318 с.: ил.

Влияние размера частиц на свойства вещества особенно сильно проявляется для материалов с размером структурных элементов, не превышающих 100 нм. Такие материалы проявляют уникальные свойства. И наиболее замечательным из них для технологии является влияние размера частиц на температуру фазовых переходов. А это означает новые возможности для разработки уникальных материалов.

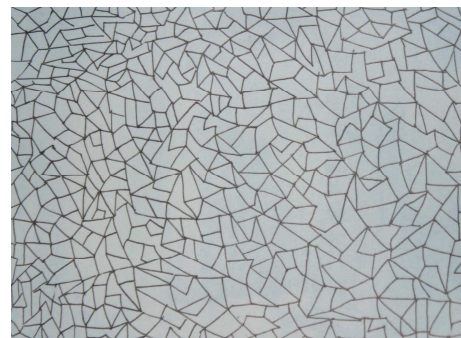


Рис.7. Структура глазури «кракле»

Физические явления (плавление, кристаллизация, диффузия, адсорбция, агрегация, смачивание и растекание) и физические свойства веществ (прочность, твердость, температура плавления и кристаллизация, вязкость, поверхностное натяжение, коэффициент диффузии) и тонкий неорганический синтез лежат в основе технологии современных материалов самого разнообразного назначения, в т.ч. для электроники, космоса, энергетики, оптики, медицины.

---

Примечание:

Идея рисунков принадлежит автору статьи.

Рисунки выполнены студентами АХПК им. В.М.Васнецова при изучении курса «Технология и материаловедение художественной керамики» в 2003-2004 учебном году. Рис. 1, 6 - Лебедевой Глафирой Михайловной; Рис. 2 - Веретенниковой Ульяной Александровной; Рис. 3 - Плешковой Александрой Александровной; Рис. 4, 5, 7 - Овчинниковой Софьей Игоревной.