

УДК 624.131:658.539

О ВЛИЯНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проф., д.т.н. Заднепровский Р.П.

НИПИ инновационных технологий, Волгоград

Аннотация Рассмотрены результаты опытов и перспективы дальнейшего использования энергетических полей (электромагнитных, лазерных, виброакустических, плазменных) для минеральных и металлических тел с целью модификации поверхностей и возможности объемного изменения свойств от воздействия низкоэнергетических полей на влажные тела типа грунтов и строительных смесей, особенно, при микродобавках наночастиц. При этом значительно возрастает конечная прочность и время твердения.

Ключевые слова: электромагнитное поле; лазерное, импульсное энергетическое воздействие, поле; структура поверхности тел, микротвердость, омагничивание жидкости, микродобавки, энергетический потенциал, электросмос.

Alteration of properties materials under action of energetic fields

Ph. D. R.P. Zadneprowsky, Volgograd

Abstract. Regarded are the analysis the experiments on application of outer fields (electric, magnetic, laser, thermal, acoustics) the properties materials and influence of nanomodification on the structural and physico- mechanical characteristics of unformed refractory materials

Key-word: energetic fields, electric, magnetic, laser, plasma, thermal, nanomodification, difference potential, mortar, soil, construction materials, low-energy impacts

В настоящее время многие энергетические поля -ЭП (вибрационные, электромагнитные-ЭМП, акустические-АП, температурные, плазменные радиационные) активно изучаются и используются для изменения и контроля свойств тел различного физического состояния [1-15]. Однако их эффективность во многих случаях (особенно для изменения объемных свойств) изучена недостаточно. Наиболее изучено и нашло применение ЭМП – для изменения поверхностных свойств. Внешние энергетические поля для изменения полезных свойств материалов могут быть использованы как для всего объема данного материала или изделия, так и для обработки его отдельных компонентов. Например, опытами доказана высокая эффективность повышения прочности строительных материалов типа бетонов за счет комбинированного воздействия ЭМП с использованием

нано- и микродобавок. Анализ опытов автора [1-5] и других исследователей [6,8,12,15] показывает, что использование импульсных и статических электрических, магнитных и акустических (УКВ) воздействий, могут дать значительный эффект при использовании в технологиях различных отраслей промышленности только с учетом физического состояния материалов. Реальные физические состояния тел являются вариациями нескольких идеализированных состояний: твердое (недеформируемое) – Т, жидкое (несжимаемое) – Ж, упругое – У, пластичное П, вязкое – В, порошковое (дисперсное) – Пр, эластичное – Э. Кроме этих 7 состояний (с учетом отклонений от идеализации) можно отнести к числу наиболее важных физических состояний вариации: УП, УВ, ВП, УЭ, УВП, УПр, ЭП, ВЖ, УТ, ЖТ, ЖПр. Последние два тела имеют поры при сильной или слабой связи между частицами. Для диспергируемых тел в диапазоне от нано- до макрочастиц (до 1-2 мм) наблюдается наличие 2-3-х экстремумов размерных гранулометрических фракций доказывающих энергетическую иерархию размерных ассоциатов.

В процессах связанных с изменением свойств строительных материалов наибольшее значение имеют следующие частотные диапазоны ЭМП (в том числе для комбинированных технологий с добавками нанопорошков): 0,3–3 МГц (например, плавка, закалка вихревыми токами); 3-30 МГц (машиностроение, строительные конструкции и деревообработка, химическая промышленность, медицина и ряд других областей). Изменение свойств связано с изменением энергетических потенциалов на фазовых границах тел (электрокинетического, диффузионного, температурного, капиллярного, адгезионно-когезионного, электродного). Автором проведена оценка этих потенциалов для пористых дисперсных тел (близких к физическому состоянию ПрЖ). Для системы грунт-металл электродный потенциал $\Delta\varphi = 0,05 - 9,4В$, капиллярный – до 100 кПа, адгезионно-когезионный (для влажных суглинков) – $\leq 30000 Па$, температурный (для глинистых паст) $p_T \leq 1400 кПа/град$. Удельная энергия массоперемещения для ПрЖ (на примере влажных глинистых пород, разработка которых в строительстве затруднена) рассчитанная по значениям капиллярного, адгезионного, электрического, диффузионно-осмотического потенциалов составляет величину 0,15 – 12 Дж/г. Влагосодержащие дисперсные тела обладают некоторым собственным энергетическим потенциалом, который может (по отношению к другим телам с меньшим потенциалом) выступать как внешний источник энергетических воздействий на другие тела с возбуждением процессов химико-физических структурных превращений и соответствующих изменений свойств. Общий энергетический потенциал (ОЭП) объединяет ряд частных потенциалов электромагнитных полей (ЭМП), механического (силового), термического и других воздействий. Важное значение для изменения свойств строительных материалов имеют микро- и наноразмерные фракции, которые содержатся во многих естественных глинистых, известковых и других пылеватых породах, а также,

в производственных отходах при дроблении-измельчении, золе, шлаках, сухой пыли, мокрых осадков фильтрации и т.п. Опытным путем наноразмерные частицы могут быть выявлены при использовании некоторых сорбционных методов и электронной микроскопии. Теоретически, можно использовать логарифмическое распределение частиц дисперсных тел по размерам и закон Гиббса вероятности энергетического состояния частиц. Произведение этих вероятностных параметров дает общую вероятность содержания наиболее активных частиц, однако экстремальные состояния при этом не выделяются. А это важно для выбора наиболее энергетических структур физических свойств материалов. Химические превращения (преимущественно для жидко-текучих сред) определяются общим электрохимическим потенциалом материальной системы, как возможность передать часть энергии для структурных превращений контактирующих тел. Отметим, что для влажных пористых минеральных смесей удельная энергия поровой прочно-связанной влаги – 250-600 Дж/г; диффузной - 100 – 200 Дж/г; свободной влаги – 72 Дж/г (при размере молекулы 10^{-9} м); адгезионно-когезионная прочность для суглинков (при показателе консистенции 0,1-0,7) равна 0,5-1,3 Дж/г, а поверхностная энергия равна 500-2000 Дж/м².

Расчетные удельные энергии массопереноса, в системе металл-грунт равны 0,5-12 Дж/г. Использование наноматериалов в строительных технологиях весьма перспективно при наличии экономических способов тщательного распределения весьма малых количеств нанодобавок.

Наиболее известными нанотрубоподобными материалами являются фуллерены (фуллериты), тубулены (нанотрубки), графен. Отмечена возможность изменения интенсивности внутренних связей молекулы фуллерена за счет внешней энергии (при воздействии света, радиации, высокого давления). Отмечается высокая способность фуллеренов как фрактальных структур в самоорганизации новых структур отличающихся по своему строению. Графен представляет структуру из монослойных атомов углерода с хорошей проводимостью. Углеродные нанотрубки (моно и полислойные) имеют поперечный размер около 1 нм при длине в несколько десятков микрон. Структура тубуленов образована свернутыми графитовыми листами с различным сочетанием 5, 6 и 7 –ми угольных ячеек. Бездефектные нанотрубки в 50-100 раз прочнее и в 3-4 раза легче сталей. Они обладают аномально высокой удельной поверхностью – около 1300 м²/г, что определяет их большую поверхностную энергию и высокую адсорбционную способность (особенно газов). Эффект резкого увеличения прочности (но в гораздо меньшем масштабе) характерен для многих волокнистых композитов. Известны тонкодисперсные материалы на основе графита. Так называемый терморасширенный графит имеет удельную поверхность около 80 м²/г, что почти в 10 раз выше удельной поверхности цемента. Такой графит (расширяющийся при нагреве) представляет собой хлопья с толщиной близкой наноразмерной, имеет очень низкую объемную плотность – около 0,05 г/см³ и высокую адсорбционную способность к

3

гидрофобным примесям. Значительный практический интерес представляет использование наноуглеродных и нанокремнеземных частиц из природных минералов (шунгит и другие углесодержащие породы, глинистые минералы) и отходов промышленного производства (зола, шлаки, некоторые виды сточных вод). Проблема разработки достаточно дешевых технологий извлечения наночастиц из указанных материалов находится в зачаточном состоянии. В зольных отходах после сжигания угля содержится до 10% несгоревшего углерода. Удельная поверхность частиц золы в 1,5 – 2 раза выше частиц цемента при содержании фракции менее одного микрона – около 2-3%. При использовании логарифмического закона нормального распределения частиц, теоретически, такая зола может содержать 0,03-0,2% наноразмерных углеродных частиц.

Энергетические воздействия на жидкие и твердые тела весьма разнообразны как по физическому характеру так и по динамике воздействия. Сами тела (в зависимости от их физического состояния) обладают некоторым собственным энергетическим потенциалом -СП, который может (по отношению к другим телам с меньшим потенциалом) выступать как внешний источник энергетических воздействий на другие тела с возбуждением процессов химико-физических структурных превращений и соответствующих изменений свойств. Удельная поверхность частиц S данного тела играет первую роль эффективности воздействия ЭП. Некоторые типы ЭП способствуют измельчению ассоциатов и повышают S в 1,5-2 раза (например, электронно-пучковое воздействие энергией 20-30 Дж/см²). Акустическое воздействие (вплоть до УКВ) наиболее эффективно для тел с жидкой фазой, когда возможен распад или значительное изменение сцепления ассоциатов. Однако характер воздействия ЭМП для этих изменений имеющий, как правило, поличастотный характер изучен недостаточно, особенно в связи с определением оптимального режима электромагнитного воздействия с целенаправленным изменением конкретных свойств данного материала. Следует подчеркнуть, что поличастотный характер изменения градиентов различных свойств отражает фазовые процессы физических превращений в объеме среды на наноуровне поверхностей частиц.

Поверхностная прочность тел типа ТП, ЖТ, УП может сильно возрасти при использовании лазерного излучения и высоковольтного импульсного разряда (например для твердых заполнителей бетонов до 30-50%) [5]. Слабое и очень сильное импульсное магнитное поле -ИМП (порядка 50 МА/м) заметно влияют на изменение поверхностной твердости в зависимости от времени действия, а ИМП – на фазовую структуризацию и химсостав сплавов. Следует отметить существенный эффект изменения твердости металлов и сплавов при низкоэнергетическом электронном облучении (до 75кЭв).

Оптимальный режим большинства ЭМП определяется напряженностью поля - E, временем воздействия – t и температурой T, скоростью относительного перемещения материала в поле – V и числом изменений

направлений потока материала относительно полюсов магнита. Это определяет оптимизацию воздействия [3].

Наличие существенной разности энергетических потенциалов на границе жидкость - твердое тело позволяет объяснить переход нанокремнеземных частиц минерала шунгита в воду затворения. Это создает предпосылки практического использования подобных наноструктурированных микросуспензий. По специальным опытам автора при длительном нахождении в воде порошка шунгита концентрация в жидкости нанокремнеземных частиц составляет до 0,1- 0,15 % .В жидкости частицы менее 500 нм .подчиняются законам броуновского движения и не осаждаются. Вариантом метода объемного насыщения активными наночастицами является выдержка наполнителя(щебня) в воде с активными наночастицами (например, в отходах гидролизного производства). После выдержки щебень высушивали при температуре 120 –180 градусов. Наблюдалось повышение прочности (по дробимости) известнякового щебня. Равномерное объемное распределение нанодобавок, составляющих доли процента, является труднодостижимой задачей массового производства. Вследствие чего относительный эффект повышения прочности в лабораторных и производственных условиях может значительно различаться.

Одним из развивающихся направлений использования ЭМП - регулирование адгезии и когезии дисперсных материалов. В опытах с глинистыми пастами и строительными растворами при действии ЭМП для различных температур изменялись параметры смачивания (угол смачивания и вязкость влаги или параметры когезии-адгезии влагосодержащих смесей), а также изменение электросопротивления, электродных и диффузных потенциалов системы грунт-металл. Время релаксации составляет от 3-4 часов до суток в зависимости от состава водного раствора или суспензии и режима ЭМП. Полиэкстремальный характер изменения физических свойств при действии магнитного поля указывает на необходимость контроля оптимизации режима ЭМП, особенно в комбинации с углекремнеземными и другими нанодобавками.

Для оценки изменения свойств намагниченной жидкости автором разработана простая методика этой оценки - по измерению относительной вязкости с определением скорости изменения угла скатывания капель жидкости по наклонной поверхности (до и после воздействия магнитного поля) . Отметим, что зависимость силы прилипания (адгезии)глинистых пород к металлу имеет полиэкстремальный характер: максимальное снижение (в 1,5-2 раза) наблюдалось при напряженности магнитного поля 500-100 А/м. При росте напряженности адгезия может увеличиваться и таким образом нужно подобрать режим магнитной обработки в зависимости от поставленной задачи.

Волнообразный колебательный характер изменения градиента тока при твердении влажных паст со снижением электропроводности системы . показывает наличие фазовых изменений во время твердения и, если известно время периодов таких колебаний, представляется возможность

целенаправленного воздействия на влагосодержащую систему постоянного или переменного поля для регулирования конечных физико-механических свойств. Следует подчеркнуть малую энергоемкость ЭМП (до 100кА/м) для многих процессах используемых в промышленных и с/х технологиях. Например, прирост прочности (сжатие) цементнопесчаных образцов для различных комбинаций микродобавок и активации жидкой фазы составил 80 – 220% . Опыты с гипсом дали прирост прочности до 40%. В ряде случаев существенный эффект дает электрохимическая активация (ЭХА) жидкой фазы (при росте релаксационных процессов, изменении величин вязкости, pH , поверхностного натяжения). Можно сделать вывод о значительной эффективности комбинированных технологий, особенно, для материалов с пониженным содержанием влаги и полагать, что применение наноуглеродных добавок концентрацией 0,01- 0,06% к массе связующего материала в сочетании с краткой импульсной электромагнитной обработкой позволит увеличить конечную прочность материалов на основе вяжущих веществ в 2,5-3 раза при условии правильного подбора соотношения компонентов начальной смеси и оптимального режима ее обработки. А это важно для выбора наиболее энергетических структур физических свойств материалов. Для дисперсно-пористых тел типа почвогрунтов и строительных смесей [1-3] возможно снижение их трения по рабочим поверхностям за счет уменьшения адгезионно-когезионного потенциала . В данном случае используется внешнее стационарное приложение электрического поля , (процесс электроосмоса), когда на границе влажная смесь – рабочая поверхность выделяется микрослой влаги служащий смазкой. По опытам с глинистыми грунтами (на автогрейдерах, скреперах, ленточных конвейерах) практически достаточно установить генератор мощностью 0,3- 1 кВт /м² и создать напряжение на границе грунт- металл в пределах 35-50 В. Снижение усилия копания пластичных грунтов и смесей достигает 15-20% ,а общая производительность при разработке залипающих масс возрастает в 1,5-2 раза. Возможно комбинированное воздействие: дополнительная установка постоянных магнитов вблизи рабочих кромок . В этом случае эффект снижения адгезионно-когезионного залипания и соответствующее снижение усилия копания- перемещения существенно повышается.

Отметим, что для влажных пористых минеральных смесей удельная энергия поровой прочно-связанной влаги – 250-600 Дж/г; диффузной - 100 – 200 Дж/г; свободной влаги – 72 Дж/г (при размере молекулы 10^{-9} м); адгезионно-когезионная прочность для суглинков (при показателе консистенции 0,1-0,7) равна 0,5-1,3 Дж/г, а (поверхностная энергия равна 500-2000 Дж/м²).

Расчетные удельные энергии массопереноса, в системе металл-грунт равны 0,5-12 Дж/г.

Значительный практический интерес представляет использование наноуглеродных и нанокремнеземных частиц из природных минералов (шунгит и другие углесодержащие породы, глинистые минералы) и отходов

промышленного производства.(зола, шлаки, некоторые виды сточных вод). Проблема разработки достаточно дешевых технологий извлечения наночастиц из указанных материалов находится в зачаточном состоянии. В зольных отходах после сжигания угля содержится до 10% несгоревшего углерода. Удельная поверхность частиц золы в 1,5 – 2 раза выше частиц цемента при содержании фракции менее одного микрона –около 2-3%. При использовании логарифмического закона нормального распределения частиц, теоретически, такая зола может содержать 0,03-0,2% наноразмерных углеродных частиц.

Энергетические воздействия на жидкие и твердые тела весьма разнообразны как по физическому характеру так и по динамике воздействия. Сами тела (в зависимости от их физического состояния) обладают некоторым собственным энергетическим потенциалом, который может (по отношению к другим телам с меньшим потенциалом) выступать как внешний источник энергетических воздействий на другие тела с возбуждением процессов химико-физических структурных превращений и соответствующих изменений свойств. Концентрация наноуглеродных частиц в воде около 10^{-7} мольных долей считается достаточной для агрегативной устойчивости и управления кинетикой взаимодействия цемента с водой. При этом в опытах с концентрацией наномодифицированных присадок 10^{-2} - 10^{-4} % достигнуто снижение вязкости цементного теста в 2-4 раза с повышением твердости и долговечности цементного камня. При использовании воды затворения с содержанием около 0,035 % наночастиц получен прирост прочности бетона с крупным заполнителем на 12-16%, для низкомарочных бетонов – почти в 2 раза , для высокомарочных – до 30%, а для композиционных бетонов на основе волокнистых наполнителей – около 5%-10%. При этом наноуглеродная добавка более 1 % не дает эффекта

На основании опытов можно сделать предварительные выводы:

- прирост прочности смесей на быстротвердеющих вяжущих (типа гипс) значительно меньше , чем на медленнотвердеющем вяжущем при одинаковых микроконцентрациях наноуглеродной добавки,
- дополнительное влияние магнитного поля (в комплексе с нанодобавками) может дать неоднозначный эффект в зависимости от режима омагничивания и минерального состава водных примесей,
- при малой влажности смеси повышение неоднородности распределения нанодобавки значительно влияло на конечный результат упрочнения,
- эффективность использования низкоконцентрированных наноуглеродных суспензий из минерала шунгита (содержащего наноуглерод) открывает перспективы возможности получения подобных наноуглеродных суспензий из других углеродсодержащих материалов (сажи, золе сжигания, отходах угледобывающей, металлургической, топливной промышленности)
- возможно повышение прочности низкомарочных бетонов в 2-3 раза при рациональном сочетании наноуглеродных микродобавок и магнитной обработке оптимального режима
- дана оценка потенциалов влажных глинистых грунтов и их возможность

изменения при низкоэнергетической магнитной обработке (100-200 А/м)
- трение влажных дисперсных масс типа гпунтов может быть снижено в 2-3 и более раз при использовании электроосмоса и магнитного слабого поля (до 10-30 Тесла)
- электроимпульсное воздействие на металлические элементы конструкций могут существенно увеличить их долговечность при усталостном режиме нагружения.

Список использованной литературы

1. Заднепровский Р.П., Карева Н.В. Оценка эффективности активации жидкой фазы строительных смесей на их адгезионные и когезионные свойства // Строительные материалы. Сухие строительные смеси, 2011, №2. С.24-28
2. Заднепровский Р.П. Об эффективности и закономерностях влияния внешних энергетических воздействий на свойства тел. Научные труды Клуба докторов наук, Волгоград: изд.» Сфера», 2017. С.5-14
3. Заднепровский Р.П. Оптимизация режима электромагнитной активации водосодержащих смесей при регулировании когезионных и фрикционных характеристик. //Строительные материалы и оборудование 21 века, 2011, №11, с.37-39
4. Заднепровский Р.П. Нано- и микродобавки в строительном материаловедении // НАНО. Технологии, экология, производство, 2012, №5. С. 112-117
5. Заднепровский Р.П. Энергетика измельчения материалов различного физического состояния // Сухие строительные смеси , 2013, №5. С.14-18
6. Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Пономарев М.В., Громов В.Е. Влияние слабого магнитного поля на пластичность алюминия // Вестник Тамбовского госуниверситета, том 15, вып3, 2010. С.820-821
7. Белоненко М.В. Effekt of the ferraelektric environment on the dynamics of self- indicet transpartency in solitons // Yournal of Laser Research, vob.27, № 1.P. 7080
8. Горбунов С.В., Воробьев С.В., Коновалов Р.В. и др. Формирование поверхностных структурно-фазовых состояний при электроннолучевой обработке нержавеющей стали. Труды института сильноточной электроники СО РАН, том 8.С.54
9. Кадомцев А.Г., Домаскинская Е.Г., Гиляров В.Д. Распределение упругой энергии выделяемой при образовании гетерогенных материалов. 8-ая межд. конф. « Физика прочности материалов», СамГТУ, 2012, С.25
10. Петров Е.В., Трофимов В.С., Щукин А.С. Физические превращения в поверхностном слое после воздействия высокоскоростного потока частиц // Вестник Тамбовского университета , т.21, вып. 3, 2016. С. 784-785
11. Yassim A.K. Magnetic Puls Welding Technologi // Jraq J.Electrical and Electronic , 2011, №2. P. 169-179

12. Коваленко В.С. Нетрадиционные методы обработки материалов в Японии// Электронная обработка материалов ,2000,№3. С.4-12
13. О физике прочности и пластичности. Материалы 18-ой межд. конф. Самара, изд. СамГТУ,2017. С. 79, 115,118
- 14.Корниенко Н.Е., Макира Л.П., Стебенко А.Н. и др. Влияние коллективных эффектов и нелинейного колебательно-электронного воздействия на изменение твердости кремния в магнитном поле // Вестник Тамбовского ун-та , т.15,вып. 3, 2010. С.949-950
15. Столяренко А.И., Нечаев Е.П. О свойствах металлов после термомагнитной обработки импульсными магнитными полями. // Вестник Тамбовского ун-та, т.15, вып.3, 2010. С.1074-1075.