

УДК 669.018-419

Н. В. Новиков, акад. НАН Украины; **В. П. Бондаренко**, член -кор. НАН Украины

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

СТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ КОМПОЗИТОВ

Обосновано определение понятия «структурированные материалы». Приведены условия получения и прогноз перспективных направлений научной и практической деятельности в области создания структурированных материалов.

Ключевые слова: *структурированные материалы, условия получения, прогноз направлений деятельности.*

В преддверии 50-летнего юбилея деятельности Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины его директор академик НАН Украины Н. В. Новиков аргументировано доказывал необходимость поиска новых эффективных путей обновления научно-прикладной деятельности института. В работе «Алмаз Украины» [1] всесторонне проанализирована хронология, научные и практические результаты деятельности признанного в Украине и за рубежом научно-технологического, находящегося в авангарде научного прогресса Бакулевского Института сверхтвердых материалов. Начиная с 1932 года, когда был создан небольшой коллектив ученых, возглавляемый В.Н. Бакулем, и до настоящего времени основные достижения в деятельности института связаны с использованием новых материалов в инструментах, а за последние 50 лет в дополнение к этому их целенаправленным созданием и расширенным производством. Вершиной этой деятельности была разработка промышленной технологии синтеза широкой гаммы новых сверхтвердых материалов, получение из них различной степени совершенства моно- и поликристаллов, создание многочисленных слоистых, зернистых, компактных и пористых композитов. Созданные в институте материалы широко используют в различных инструментах и узлах трения современных машин, элементах электроники, медицинских имплантатах и других областях.

Однако с 2011 года в дополнение к основным (традиционным) научным направлениям деятельности института обострилась потребность в существенном обновлении и расширении его научно-технологической тематики.

При этом важно было сохранить ставшее привычным для научного круга аббревиатурное название института – ИСМ. Ведь эту аббревиатуру можно расшифровывать не только как «Институт сверхтвердых материалов», но и «Институт структурированных материалов», «Институт смарт материалов». Такое название включало также известное мировому научному сообществу название «Институт сверхтвердых материалов» и открывало возможности для более интенсивного и широкого поиска новых материалов, в том числе сверхтвердых.

После обсуждений на директорате и ученом совете института была произведена реструктуризация его отделов. В результате в структуре института появились отделы, в названии которых были слова «структурированные композиционные материалы». Появление этих отделов поставило на повестку дня необходимость обоснования понятия «структурированные материалы». Без этого невозможна четкая организация научной деятельности указанных отделов.

В этой связи целью настоящей работы является обосновать понятие «структурированные материалы» и спрогнозировать перспективные направления научной и практической деятельности в этой области.

Обоснование понятия «структурированные материалы».

Справочники и энциклопедии понятие «структурированные материалы» не содержит. Оно подсказано опытом научной и практической деятельности Института сверхтвёрдых материалов в области создания и производства композиционных материалов для различных отраслей промышленности. В этой связи указанное понятие должно основываться на опыте и фундаментальных материаловедческих понятиях. Среди последних основным является понятие «структура» – ключевая составляющая материаловедческой триады: состав – структура – свойства. В настоящее время структура характеризует внутреннее строение материала на макро-, мезо-, микро- и наноуровне и формируется в процессе изготовления материала или изделия. О процессах формирования структуры материалов накоплено множество сведений. Истоки данных о макроструктуре появляются еще в мезолите, когда начали изготавливать мелкие каменные изделия – микролиты, так как при их тщательной обработке выявляли макроструктуру камня. Шесть – семь тысяч лет до нашей эры начало развиваться гончарство. Гончары не могли не обратить внимания на внутреннюю структуру черепков, в связи с чем к этому времени относится проявление интереса к мезоструктуре. При появлении меди, серебра, бронзы интерес к структуре еще более усилился. С изобретением оптического микроскопа появилось понятие «микроструктура». Совершенствование микроскопов в направлении увеличения их разрешающей способности привело к появлению понятия «наноструктура».

На основе накопленных сведений можно сделать определенные обобщения.

Обычно стараются изготавливать материалы с хаотически расположением структурных составляющих, поскольку такие материалы можно использовать в различных условиях независимо от направления действующей на изделие нагрузки. Однако в ряде случаев эффективнее применять материалы с упорядоченной и неоднородной по составу и размерам составляющих структурой. В результате на макроуровне в первом случае получают материал со свойствами, зависящими от направления прилагаемой нагрузки, а во втором случае – не просто материал, а изделие с заданным (неоднородным) расположением структурных элементов, обладающих в различных долях объема изделия заданными свойствами. К таким изделиям относятся алмазно-твердосплавные пластины, вставки буровых долот со слоистым регулярным расположением содержащего алмаз композита и твердого сплава (рис. 1) и др.

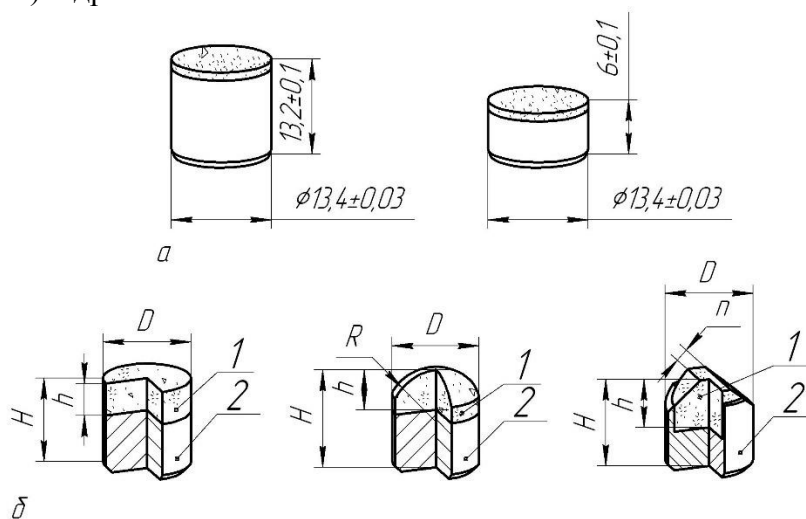


Рис. 1. Схемы вставок бурового инструмента со специальным расположением слоев содержащего алмаз композита (1) и твердого сплава (2)

Такие материалы и изделия *структурированы*, т. е. в них на макроуровне обеспечено наиболее эффективное для таких условий нагружения расположение структурных элементов, а процессы, в результате которых получены структурированные материалы и изделия, можно назвать *структурирующими*.

Если же в результате направленного воздействия удастся получить материал, в котором на макроуровне оно будет однородным во всех направлениях, т. е. с хаотическим расположением наиболее крупных структурных составляющих, но на мезо-, микро- или наноуровне структурные элементы расположатся не хаотично, а заданным упорядоченным образом (рис. 2), то понятие «*структурированные*» можно будет применить и к таким материалам. Однако такие материалы необходимо будет называть *структурированными* на определенном уровне, т. е. это будут материалы с заданным расположением структурных элементов на соответствующем уровне. Очевидно, что свойства, таких материалов будут отличаться от свойств материалов, те же структурные составляющие которых расположатся по всему объему хаотически.

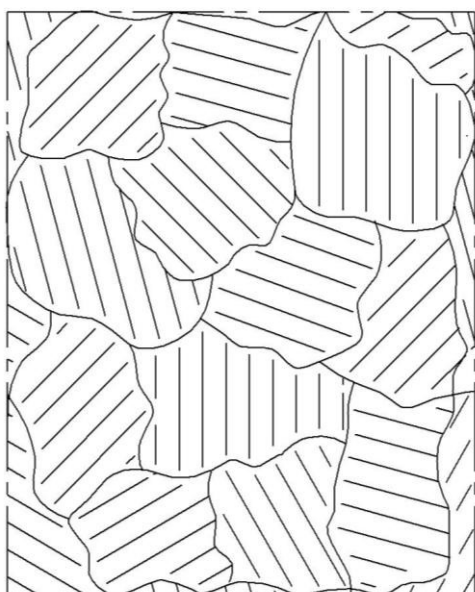


Рис.2. Схема строения материала, структурированного на мезоуровне

Существуют и другие типы материалов, расположение структурных составляющих которых отличает от стохастического.

Например, к таковым относится материал с наперед заданным неоднородным распределением по размерам какой-либо структурной составляющей композита, хотя эта структурная составляющая в объеме материала может располагаться не только упорядоченно, но и хаотически. Такое распределение не может сформироваться самопроизвольно в процессе одной какой-то технологической операции. Его необходимо создавать. Например, в крупнозернистом материале разместить одну или несколько мелкозернистых фракций либо, наоборот, мелкозернистой фракции разместить одну или несколько крупнозернистых фракций. Следует отметить, что такую неоднородную структуру можно получить также в однофазном материале со стохастическим распределением

структурных составляющих. Для этого типа материала характерно искусственно созданное неоднородное распределение по размерам какой-либо структурной составляющей, т. е. такие материалы также относятся к структурированным.

К другому типу материалов этого ряда можно отнести такие, которые занимают промежуточное положение между материалами со стохастическим и регулярным расположением структурных составляющих. В таких материалах структурные составляющие могут объединяться в различные образования: цепочки, кольца, шары, многоугольники и многогранники различных форм и размеров. При этом вследствие многообразия форм, размеров и взаиморасположения их нельзя отнести ни к материалам со стохастическим (случайным) расположением структурных составляющих, ни к материалам с регулярным (упорядоченным) их расположением. Это материалы с произвольным распределением по размерам и объему материала структурных составляющих. Если такие материалы можно систематически воспроизводить, они также являются структурированными.

Согласно приведенным данным структурированные материалы различаются количеством, формами, размерами и последовательностью расположения структурных составляющих.

К основным отличительным признакам структурированных материалов относятся заданное неоднородное распределение по составу и размерам, а также нестохастическое расположение в объеме материала структурных составляющих. Такое расположение может быть упорядоченным (регулярным) хотя бы на одном структурном уровне либо произвольным.

Исходя из приведенных признаков понятию «структурированные материалы» можно дать следующее определение: это одно-, двух- или многофазные материалы, структурные составляющие которых неоднородно распределены по составу и размерам или расположены нестохастически хотя бы на одном структурном уровне во всем объеме материала или в некоторой представительной его части. Такое определение охватывает широкий класс материалов: не только с регулярной структурой, но и однофазной или композиционной матрицей с хаотической структурой, где расположен композиционный материал-наполнитель с упорядоченной структурой либо композиционный наполнитель с хаотической структурой в композиционной матрице с регулярной структурой, т. е. с комбинированной структурой, а также неоднородным распределением структурных составляющих.

С учетом изложенного перспективы получения эффективных структурированных материалов многообещающие. В этой связи целесообразно рассмотреть условия, существующие и перспективные способы получения, а также направления исследований в материаловедении структурированных материалов.

Условия получения структурированных материалов.

Учитывая, что согласно сформулированному определению к структурированным относятся материалы с нестохастическим и преднамеренно неоднородным распределением по составу и размерам структурных составляющих, условия их получения должны отличаться от условий получения материалов со стохастическим распределением структурных составляющих с естественной неоднородностью по размерам.

Сначала определим условия формирования *стохастической структуры* с естественной неоднородностью структурных составляющих по размерам. Очевидно, такие условия должны обеспечивать возможность возникновения или наличия в исходном объеме материала множества стохастически расположенных центров с произвольным направлением кристаллографических осей, с которых самопроизвольно развивается процесс формирования его структуры. Наиболее полно такие условия соблюдаются тогда, когда указанные центры возникают в результате случайных флуктуаций концентрации атомов однокомпонентных веществ, находящихся в относительно большом объеме материала с нулевым градиентом температуры и напряжения.

Обеспечиваются такие условия при фазовых превращениях в твердом состоянии, первичной и собирательной рекристаллизации. При кристаллизации расплавов подобные условия обычно обеспечиваются в центральных частях крупногабаритной отливки (слитка), где обеспечен минимальный градиент температуры и из-за высокой скорости образования и увеличения центров кристаллизации незначительно влияние гравитации. Довольно легко эти условия реализуются также при спекании заготовок, спрессованных из порошков, так как частицы порошка представляют собой сформировавшиеся структурные составляющие, ориентированные в объеме прессовки случайным образом, а их форма и размеры несущественно изменяются при спекании. В значительной степени такие условия соблюдаются также при твердении связующего в дисперсных системах. Процессы формирования стохастической структуры в указанных условиях изучены довольно обстоятельно [1–7]. Их отличительная черта состоит в самопроизвольном протекании в заданных условиях за счет

дискретных, случайно распределенных в объеме внутренних сил. Все приведенные процессы можно объединить в одно понятие – стохастическая структуризация.

Из изложенного следует, что *нестохастическая структура* формируется тогда, когда условия стохастической структуризации не соблюдаются полностью или к ним добавляется действие других факторов, влияние которых на структуризацию превалирует над условиями стохастической структуризации. На макроуровне особенно наглядно это проявляется при остывании крупного металлического слитка в изложнице (рис. 3, [8]). В начальный период, когда температура стенок изложницы значительно ниже температуры расплава, на поверхности слитка образуется зона очень мелких кристалликов с хаотическим расположением осей. Затем вследствие уменьшения градиента температуры формируется зона столбчатых кристаллов, оси которых перпендикулярны к стенкам изложницы.

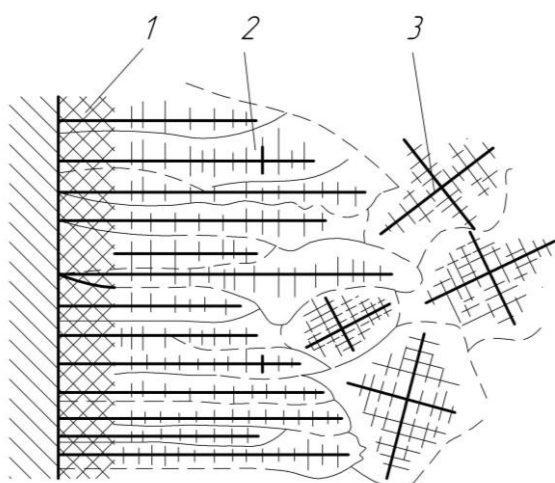


Рис. 3. Схема строения литой стали

При дальнейшем уменьшении градиента температуры от стенки изложницы до центральных объемов слитка в последних формируются довольно равноосные кристаллы с хаотическим расположением осей. В результате на макроуровне слиток получается сильно структурированным. При уменьшении объема слитка градиент температуры увеличивается, а объем слитка с хаотической структурой уменьшается. При некотором объеме слитка градиент температуры может не достичь значения, при котором формируется зона равноосных кристаллов. В таком случае внутренний объем слитка будет состоять только из

столбчатых кристаллов. Проанализировав приведенные примеры, приходим к выводу, что структуризацией на макроуровне материалов или изделий, получаемых из расплава, можно управлять путем изменения градиента температуры по их объему. Для структуризации на макроуровне можно также использовать напекание или осаждение слоев из газовой или жидкой фаз на основу, диффузионное насыщение толстых слоев поверхности основы атомами различных химических элементов, обработку изделий расплавами металлов, пропитку пористых заготовок расплавами, поверхностное наклепывание изделия с последующей термообработкой, различные намазывания с последующим отжигом и пр. Как видим, что структуризация на макроуровне осуществляется за счет использования специальных мер направленного воздействия: механического, теплового, электрического, химического, потокового. При создании необходимого оборудования и технологии такая структуризация не очень сложная, так как физические и химические основы указанных процессов изучены довольно полно [9–12].

При структуризации на мезо-, микро- и наноуровне отдельные явления и процессы усложняются, часто становятся непредсказуемыми. Особенно сложные они при структуризации на микро- и наноуровне. В этом случае конкурируют процессы для обеспечения заданной степени структуризации и ведущие к образованию стохастической структуры, поскольку все эти процессы протекают при высокой температуре и активности диффузии, растворения, осаждения и химического взаимодействия химических элементов и исходных структурных составляющих. Если в результате этого образуются материалы с неупорядоченной однофазной и даже легированной структурой, их нельзя считать структурированными. Это материалы с однородной неупорядоченной (стохастической) структурой. Если же в результате конкуренции рассматриваемых процессов структура

материалов приобретает специфическую неоднородность по составу и размерам структурных составляющих и в значительной степени ориентированной или упорядоченной по всему объему материалов или в отдельных хаотически расположенных частях объема материалов, такие материалы следует считать структурированными. Примеры структуризации на мезо- и микроуровне приведены в [13–16].

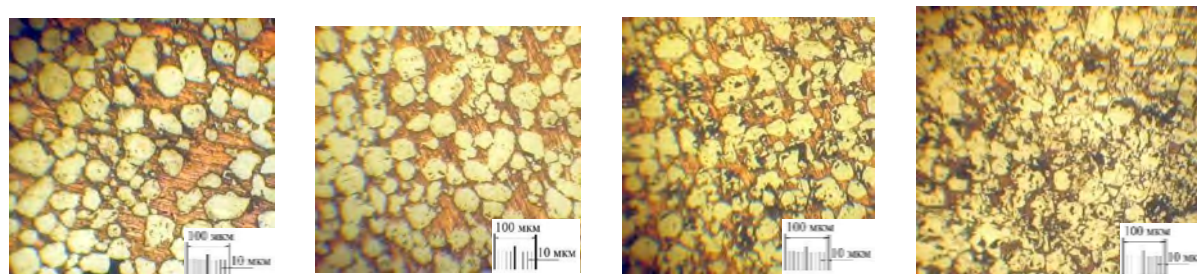
Так, при спекании однофазных порошковых мелкозернистых прессовок иногда наблюдается зонная обособленность [13], обусловленная неравномерной усадкой в разных частях прессовки. Такое явление, вероятно, вызвано неравномерной плотностью прессовки, приводящей к возникновению неравномерного распределения межчастичных сил. Создавая искусственно заданное неоднородное распределение плотности, и соответственно межчастичных сил по объему прессовки, в результате спекания можно будет получать заданную зонную обособленность структуры прессовки. Этот процесс можно назвать *зонной структуризацией*.

Исследователи под руководством В. Н. Шуменко [14; 15] в начальный период (несколько секунд) жидкофазного спекания мелкозернистых твердых сплавов фиксировали образование изолированных крупных пор, окруженных толстыми прослойками сплава, которые состояли из множества тугоплавких частиц, взаимосвязанных жидкой фазой. При увеличении продолжительности выдержки под действием капиллярного давления указанные поры зарастали. В конце спекания образовывалось сплошное композиционное беспористое тело. Если остановить спекание на начальном этапе, когда поры еще не заросли, можно получить пористые материалы с композитными прослойками. Такое структурированное состояние можно считать метастабильным. Образование метастабильных композитных прослоек подобно зонной обособленности, по нашему мнению, обусловлено неоднородностью распределения частиц связки между частицами тугоплавкой составляющей, которые, в свою очередь, неоднородно распределяются по размерам.

В процессе исследований [16] наблюдали самопроизвольный переход от стохастического расположения крупных (80/40 мкм) частиц WC в прессовках композитов WC–Co и WC–Cu к цепочкам частиц WC, окружающих поры произвольной формы (рис. 4). Это явление проявлялось при тонких (до 1 мкм) покрытиях исходных частиц WC пластичными металлами (Co, Ni, Cu) при жидкофазном спекании и толстых (7 мкм) покрытиях этими же металлами при твердофазном спекании. Оба указанных явления проявлялись при незначительной (4–8% об.) усадке, когда в процессе формирования цепочек разрывались связи частиц, входящих в одну цепочку, с частицами, входящими в соседнюю цепочку, т. е. нарушалось условие равномерности усадки в отдельных микрочастях объема заготовки. Образовавшиеся цепочки крупных частиц WC уже не сливались в процессе выдержки и сохранялись до полного остывания сплава, образуя разветвленный пористый карбидный скелет (но не каркас) в пористом теле. Структурированное состояние в данном случае оставалось устойчивым и при относительно продолжительных (до двух часов) выдержках. В этой связи в отличие от явлений, которые наблюдали другие ученые [14; 15], наблюдаемое явление в нашем исследовании [16] можно считать стабильной структуризацией. Полученный таким способом скелет можно пропитывать различными расплавами (металлическими, керамическими, органическими), создавая класс композитов нового типа.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что материал или изделие на мезо- и микроуровне может структурироваться самопроизвольно, в случае создания для этого определенных условий (градиент температуры, неоднородная плотность, неоднородное распределение исходных структурных составляющих, покрытие крупных тугоплавких частиц более легкоплавкими металлами, сложная форма частиц, непродолжительные выдержки). При создании таких условий, можно получать различные структурированные материалы и изделия. Непродолжительные выдержки нужны для того, чтобы фиксировать метастабильное структурное состояние, продолжительные – фиксировать стабильное состояние.

Из приведенных примеров следует также, что самопроизвольная нестохастическая структуризация на мезо- и микроуровне – довольно распространенное явление, однако условия ее осуществления изучены недостаточно. Новые факты продолжают накапливаться. Научное обоснование условий самопроизвольной структуризации позволит создать новое направление в материаловедении композитов и разработать новые типы структурированных композитов и технологии их получения.



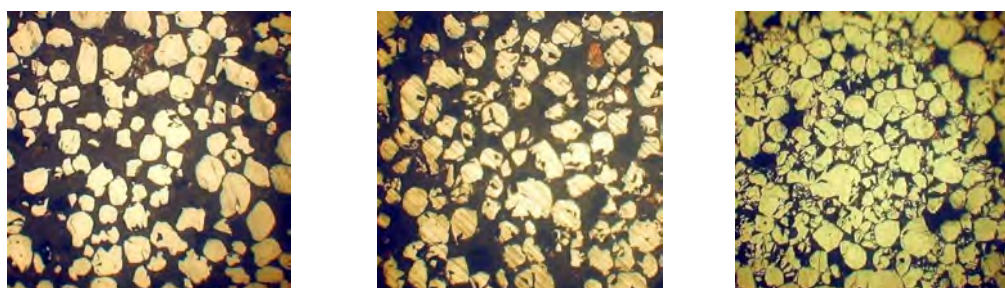
$P_{пр} = 100 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 300 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 350 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 400 \text{ МПа}$

a

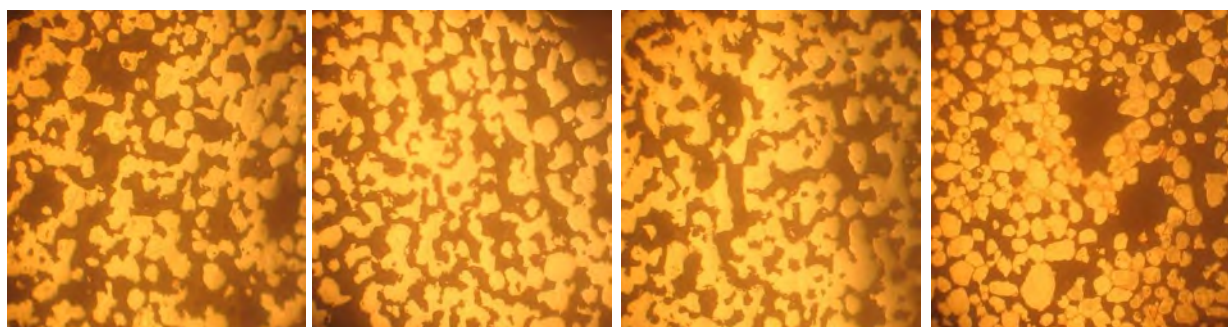


б

$P_{пр} = 100 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 200 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 370 \text{ МПа}$



$P_{пр} = 30 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 100 \text{ МПа}$

$P_{пр} = 200 \text{ МПа}$

$WC(Cu) P_{пр}=200 \text{ МПа};$
 $T_{сп} = 1100 \text{ °C}$

в

г

Рис. 4. Формирование стохастической структуры при прессовании частиц WC зернистостью 80/40 мкм без покрытий при давлении прессования $P_{пр} = 100\text{--}400 \text{ МПа}$ (а); сохранение стохастической микроструктуры образцов WC(Cu), спрессованных при различном давлении $P_{пр}$ и спеченных в твердой фазе при $T = 960 \text{ °C}$ (б); самопроизвольная структуризация прессовок из частиц WC(Co), спрессованных при различном давлении $P_{пр}$ и спеченных при $T = 1370 \text{ °C}$ (в) и прессовок WC(Cu), спрессованных при $P_{пр} = 200 \text{ МПа}$ и спеченных при $T = 1100 \text{ °C}$ (г)

Примеров структуризации на наноуровне очень мало. В качестве одного из них можно привести формирование слоев в зернах тугоплавких составляющих (кольцевая структура) в твердых сплавах [5]. Толщина таких слоев в ряде случаев составляет до 100

нм. Эти слои различаются формами, толщиной, порядком расположения и их формированием до некоторой степени можно управлять. К примерам относится также формирование композитов с матрицей из наночастиц алмаза или кубического нитрида бора и наполнителем из микрочастиц алмаза или твердых тугоплавких соединений [17; 18]. Вероятно, структуризацию на наноуровне можно наблюдать также при затвердевании коллоидных растворов. Однако такие примеры не известны. Одной из причин небольшого количества примеров структуризации на наноуровне является проблема сохранения исходных размеров частиц на наноуровне. Решение этой проблемы откроет широкие возможности для создания наноструктурированных композитов.

В настоящее время к наноструктурным объектам относят границы зерен [19]. Если обеспечить заданное структурное состояние границ зерен, такие материалы также можно будет относить к структурированным на наноуровне. Вопросу управления состоянием границ зерен ученые уделяют должное внимание [20; 21]. Разработка способов получения границ зерен с заданным строением будет способствовать созданию наноструктурированных материалов со специфическими свойствами, зависящими от состояния границ зерен как однофазных материалов, так и композитов.

В целом отметим, что условий и способов осуществления структуризации материалов и изделий довольно много. Это открывает широкие возможности для создания эффективных структурированных материалов.

Прогноз перспективных направлений научной и практической деятельности в области создания структурированных материалов.

Обоснование определения «структурированные материалы», выявление условий структуризации, введение новых понятий о видах структуризации позволяют спрогнозировать перспективы развития исследований в области структурированных материалов.

Как указывалось, наиболее сложными и наименее изученными являются процессы нестохастической самопроизвольной структуризации. В этой связи в первую очередь фундаментальные и прикладные исследования следует осуществлять в этом направлении. В области фундаментальных исследований прежде всего необходимо выяснить движущие силы, механизмы и кинетические особенности не стохастической самопроизвольной структуризации. Наиболее перспективны для этих исследований потоковые технологии.

Как отмечалось выше, одной из причин самопроизвольной структуризации металлического слитка является самопроизвольное изменение условий его кристаллизации за счет изменения в разных направлениях теплового потока от металла к окружающей среде: изложнице, воздуху. Отсюда следует, что к направлениям научной и практической деятельности в области структуризации относится изучение влияния на структуризацию изменения тепловых потоков. Например, подогрев или утепление стенок изложницы приведет к изменению характера структуризации слитка.

Таким же способом (изменением теплового потока) можно управлять структуризацией при твердофазном спекании сплошных и трубчатых однофазных прессовок, формируя в них обособленные зоны, а при жидкофазном спекании прессовок из двухфазных композитов обеспечивать неравномерное распределение связки по объему сплошного изделия или по толщине стенки полого изделия. Изменение формы теплового потока, входящего в изделие и выходящего из него при остывании, позволит формировать в спекаемом изделии сложное распределение одной из фаз по его объему или получать изделия с неравномерным распределением по их сечению размеров зерен. Кроме того, существуют и другие эффективные способы управления направленной структуризацией изделия при его охлаждении после спекания, отливки,ковки и пр. Особенность такого управления тепловыми потоками состоит в возможности структурирования только на макроуровне, поскольку на других уровнях (мезо-, микро-, нано-) управлять тепловыми потоками очень сложно.

Самопроизвольной структуризацией на этих уровнях эффективнее управлять с помощью диффузионных потоков вещества. При этом в случае использования диффузии из внутренних «точечных» источников нескольких компонентов, обладающих разными скоростями диффузии в такой среде, и изменением их концентрации и сочетания будет обеспечиваться различное расположение и толщина слоев формирующихся в отдельных частицах, на границах зерен или в отдельных объемах изделия. При этом может осуществляться структуризация на мезо-, микро- и наноуровне. С использованием внешних диффузионных источников возможна будет осуществлять структуризация и на макроуровне.

К потоковым технологиям, в которых действуют несфокусированные потоки энергии, относится также обработка изделий проникающими излучениями (гамма - квантами различных энергий, нейтронами, протонами), в результате которой в некоторых частях изделий будут упрочняться отдельные фазы за счет возникновения в них вакансий и дислокаций, протекать ядерные реакции с образованием новых химических элементов, распухать или растрескиваться материалы. Возникающая при этом в облученных изделиях радиация не позволяет использовать их в разумные сроки в обычных технологиях. Однако знание процессов структуризации материалов в условиях облучения и вызванных ею эффектов, позволит тормозить процесс структуризации и разрабатывать более радиационноустойчивые материалы, в которых структуризация будет замедленной. Особенно это важно для термоядерной энергетики, когда ресурс работы деталей реактора должен составлять десятки лет.

При использовании сфокусированных потоков энергии и частиц вещества (ионов, молекул, кластеров) можно структурировать изделие на всех указанных уровнях (макро-, мезо-, микро- и нано-), обеспечивая при этом структуризацию на всей поверхности изделий или отдельных их участках при заданной толщине структуризованного слоя.

Таким образом, варьируя потоками энергии и вещества, можно получать изделия и материалы с различной степенью и уровнем структуризации.

Структуризацию изделий можно также осуществлять путем их обработки расплавами металлов [22], выщелачивая одну из фаз и заполняя образовавшиеся поры другой, растягивая или сжимая образец, спекающийся в присутствии жидкой фазы [23; 24], напыляя или напекая слои различных материалов друг на друга. Развитие исследований в этих направлениях позволит получить множество разнообразно структурированных материалов.

Особое внимание следует уделить процессам самопроизвольной структуризации за счет неравномерного распределения существующего в исходной прессовке или возникающего при спекании механического напряжения, так как перераспределение этого напряжения может вызывать структуризацию, повышающую или снижающую качество изделий. На перераспределение напряжения при спекании могут влиять форма, размеры, состав, смачиваемость, взаимная припекаемость частиц тугоплавкой фазы. В этой связи проявление самопроизвольной структуризации под действием механического напряжения может быть различным и представлять собой важное дополнение к описанным способам.

Не исчерпаны также возможности искусственной структуризации за счет изменения состояния поверхностного слоя образца путем нанесения на него различных новых слоев и преобразования существующего слоя.

Обобщая приведенные примеры, как перспективные можно представить следующие направления исследований в области создания структурированных материалов.

1. Исследования структуризации при внешнем воздействии на образец (изделие) следующих факторов:

– изменения (увеличения, уменьшения, колебания) интенсивности входящего в образец (изделие) и выходящего из него теплового потока, т. е. потока фотонов при нагревании излучением в вакууме и при высокой температуре в газовой среде;

- изменения (увеличения, уменьшения, колебания) мощности набегающего на образец (изделие) потока материи (электронов, ионов, атомов, молекул, кластеров, ядер атомов, нейтронов, протонов, изотопов);
- изменения типа излучения (фотонов, рентгеновского и γ - излучения);
- комбинирования потоков материи;
- комбинирования потоков излучения;
- комбинирования потоков излучения и материи;
- гравитационного и механического воздействия на образец: растяжение, сжатие, кручение, сложнапряженное состояние, колебания различной частоты (в том числе инфра-, ультра-, сверхзвуковые), ударное и сдвиговое (трение) воздействие, качение, укалывание в вакууме и среде. В твердофазном состоянии это должно быть воздействие на формирование неравновесных вакансий и поведение дислокаций, в твердожидком – на перераспределение жидкой фазы и состояние карбидного твердосплавного скелета;
- комбинирования различных видов механического и потокового воздействия;
- внешнего воздействия постоянного и переменного полей (электрического, магнитного) в различных газовых средах и потоках материи при использовании различных видов механического воздействия;
- воздействия на плотный или пористый образец жидкими средами (расплавами металлов и их сплавов, стеклами, керамикой, органическими материалами) при атмосферном и высоком давлении.

2. Исследования структуризации при внутреннем воздействии на структуру образца следующими способами:

- созданием исходного неоднородного химического состава и структурного состояния материала механическим смешением компонентов за счет увеличений энтропии материала;
- созданием слоистости структурных составляющих материала за счет использования внутренних дискретных источников химических элементов;
- созданием заданного распределения плотности в исходном образце;
- созданием неоднородности механических напряжений в образце на разных стадиях его изготовления;
- созданием неоднородности распределения химического потенциала в образце;
- созданием внутреннего давления газа или пара в закрытых порах образца в твердофазном или твердо-жидкофазном состоянии;
- комбинациями приведенных воздействий.

3. Исследования преобразования состояния структуры поверхности образца следующими методами:

- нанесением различного рода покрытий на поверхность контактного изделия из пара, химически неравновесной газовой среды, намазкой, напылением, наплавлением, напеканием, детонацией, взрывом;
- оплавлением поверхностного слоя компактного или пористого образца;
- насыщением поверхностного слоя пористого изделия специальными компонентами из газовой или жидкой среды с последующим доуплотнением исходного образца;
- воздействием на поверхностный слой образца потока сыпучей среды, дроби, жидких струй;
- воздействием термической и химикотермической сплошной по всей поверхности или местной обработками;
- комбинированным воздействием на поверхностный слой.

Следует подчеркнуть, что исходные образцы, которые поддаются приведенным структурирующим воздействиям, могут быть однофазными, однокомпонентными,

твердорастворными или в виде химических соединений, а также композиционными. При этом одна из фаз может находиться в жидком или парообразном состоянии.

Таким образом, проанализировав условия, возможные способы и направления исследования структуризации, приходим к выводу, что прочтение названия «Институт структурированных материалов» вместо «Институт сверхтвердых материалов» действительно существенно расширяет направления, пути и способы создания новых материалов. Такое название института не ограничивает его в поиске новых разработок только одним видом материала и не запрещает использовать в новых разработках сверхтвердые материалы; позволяет на более высоком уровне оптимизировать концентрацию финансов, материалов, усилий, людского потенциала в целях достижения наиболее эффективных научных и практических результатов в материаловедении. Разработка общих принципов структуризации объединяет различные методы в одно направление, а не дробит их как ранее. Важным становится изучение не только каждого фактора воздействия в отдельности, но и комплексного их воздействия и на этой основе создание общей теории воздействия. Решение поставленных задач потребует создания принципиально нового оборудования, новых организационных форм исследований, явится основой образования новых коллективов и организаций.

Создание мощного центра структурированных материалов позволит также консолидировать работы, выполняемые в этом направлении другими институтами, вузами, предприятиями. При этом будут созданы более реальные условия для успешного инновационного развития науки и производства материалов.

Следовательно, новая трактовка аббревиатуры ИСМ своевременная и многообещающая.

Обґрунтовано визначення поняття «структуровані матеріали». Наведено умови отримання та прогноз перспективних напрямків наукової та практичної діяльності у сфері створення структурованих матеріалів.

Ключові слова: структуровані матеріали, умови отримання, прогноз напрямків діяльності.

A definition of the concept of structured materials, preparation conditions and forecast of research and practical activities in the field of the creation of structured materials are provided in the work.

Key words: structured materials, preparation conditions, forecast of the directions of activities.

Литература

1. Алмаз Украины: Пятидесятилетие работы Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля (1961–2001 г. г.) – К.: Азимут-Украина, – 2011. – 448 с.
2. Современная кристаллография, т. 3. Образование кристаллов. – М.: Наука, 1980. – 408 с.
3. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1967. – 404 с.
4. Еременко В. Н., Найдич Ю. В., Лавриненко И. А. Спекание в присутствии жидкой металлической фазы. – К.: Наук. думка, 1968. – 124 с.
5. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
6. Куприенко П. И. Технические суспензии. – К.: Наук. думка, 2000. – 288 с.
7. Бондаренко В. П., Павлоцкая Э. Г. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. – К.: Наук. думка, 1995. – 202 с.
8. Лахтин Ю. М. Основы металловедения. – М.: Металлургия, 1988. – 320 с.

9. Структура и свойства композиционных материалов / К. И. Портной, С. Е. Салибеков, И. Л. Светлов, В. М. Чубаров. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
10. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / Б. А. Ляшенко, Е. К. Соловых, В. И. Мирненко, и др. – К.: Ин-т проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, 2010. – 193 с.
11. Бондаренко В. П. Триботехнические композиты с высокомолекулярными наполнителями. – К.: Наук. думка, 1987. – 232 с.
12. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография в 6 т./ Под общ. ред. Н. В. Новикова. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2003–2007.
13. Бальшин М. Ю. Порошковая металлургия. – М.: Машгиз, 1948. – 286 с.
14. Фурлас Р., Шуменко В. Н. // Авт. с. № 729692 (51) М. Кл² H01 J 37/26, Устройство для наблюдения процессов на поверхности образцов. – № 15 от 25.04.80.
15. Шуменко В. Н. // Первая стадия жидкофазного спекания системы TiC-Ni / Сб. тез. докл. 3-й междунар. конф. «High Mat Tech», 3–7 окт. – К., 2011. – С. 212.
16. Структурированные пористые композиционные материалы из крупнозернистых частиц карбида вольфрама WC, покрытых упругопластическими прослойками / Н. В. Новиков, В. П. Бондаренко, В. Т. Головчан и др. // Порошковая металлургия. – 2012. – вып. 35.
17. Особенности самоорганизации ультрадисперсного алмаза при высоких давлении и температуре / А. А. Шульженко, А. Н. Соколов, В. Н. Ткач, Н. Н. Белявина // Сверхтвердые матер. – 2010. – № 4 – С. 3–8.
18. Нанокompозити, отримані реакційним спіканням кубічного нітриду бору з алюмінієм і диборидом титану / М. П. Беженар, Т. О. Гарбуз, С. М. Коновал, С. А. Божко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – 2010. – Вып. 13. – С. 240–246.
19. Орлов А. Н., Перевезенцев В. Н., Рыбин В. В. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 464 с.
20. Атомистическое моделирование материалов / В. В. Покропивный, Ю. И. Роговой, В. В. Огородников, А. А. Лисенко. – К., ИПМ им. И. Н. Францевича НАН Украины, 2008. – 464 с.
21. Бондаренко В. П., Новиков Н. В., Гнатенко И. А. // О перспективах управления состоянием межкарбидных границ в твердых сплавах WC-Co/ Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13 – С. 381–382.
22. Лисовский А. Ф. Формирование структуры композиционных материалов при обработке металлическими расплавами. – К.: Наук. думка, 2008. – 199 с.
23. Бондаренко В. П., Юрчук Н. А. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 81–86.
24. Юрчук М. О. Вплив дії розтягуючих напружень на структуру та властивості спеченого у вакуумі малокобальтового твердого сплаву VK6 // Сб. науч. тр. – К.: Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 367–374.

Поступила 27.05.2013