

УДК 621.771: 669.01(07)

НАНОТЕХНОЛОГИИ С ПОЗИЦИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ НАУКИ: ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ

Е.Н. Сосенушкин

ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», Москва

Осуществлена попытка исследования философских проблем развития нелинейной науки. В качестве примера рассмотрена технология производства различных наноструктурных конструкционных материалов. Системно с позиций синергетики представлены абстрактные модели механизма деформации и масштабные уровни формирования структур конструкционных материалов.

***Ключевые слова:** философия, междисциплинарный подход, синергетика, абстрактные модели, макро-, мезо- и микроуровни формирования структур.*

Сколько существует человечество, столько времени оно стремится познать окружающий мир в целом и себя в частности. «Вечные» вопросы сознания и подсознания, механизмов мышления, уникальности человеческой памяти и интуиции будоражили умы выдающихся философов разных эпох. Ответы на одни вопросы получены, над другими до сих пор размышляют ученые. В трудах А.И. Уварова [1] анализируются сущность и специфика гуманитарного, прежде всего истинного, познания, категориальная структура теории и метода в исторической науке, роль художественного познания в ней, а также эвристические возможности истинной реконструкции и модели истинности источника, исследуется связь гуманитарного познания с естественно-научным и техническим. Обосновывая концепцию социо-технологического направления в философии, А.И. Уваров различает традиционную гносеологию и эпистемологию, формирующуюся под воздействием компьютерной революции. В качестве основных положений последних им выделяются конструктивность познания, его «дуализм» (широкое использование исследователем компьютера), многоаспектность, тройственность знания (истина, добро, красота) и принцип медиатизации познания, означающий кооперацию средств и форм познания на основе электронной связи с ЭВМ (коллективный разум «человек–машина»). По мнению А.И. Уварова, в условиях современной науки, компьютерной революции и социального опыта формируется новый философский метод — нелинейная диалектика. Её принципы: нелинейность, комплексность, вычислимость, конструктивность, системность, кооперативность, личностность (индивидуальность исследователя), иррациональность и культурологический принцип, т. е. связь со всеми сферами культуры [там же].

На наш взгляд, синергетика, как и нелинейная диалектика, является частью нелинейной науки, которая опирается на уже сложившиеся оригинальные подходы, новые идеи и методы. Работа в области математического моделирования предполагает своеобразный стиль мышления, в котором глубина и конкретность сочетаются с широтой и пониманием общих идей [2]. Анализируя развитие науки, Г.Г. Малинецкий [там же] показал необходимость построения множества различных моделей для описания одного явления или объекта, создания альтернативных картин реальности. Лавина информации, порождаемая компьютерными технологиями, заставляет задуматься над тем, как ее правильно понять, осмыслить, упорядочить, как воспользоваться тем богатством, которое нам досталось. Выход состоит, как пишет автор [там же], в разработке междисциплинарных подходов, в том числе и в науке. Становление и развитие кибернетики, синергетики, нелинейной динамики показали, что это не только возможно, но и интересно. Не удивительно ли, что в журналах по нелинейной науке (nonlinearscience) можно увидеть статьи математиков, географов, психологов, физиков и инженеров? Далее, цитируя автора [там же], заметим, что «они осваивают новый нелинейный язык, который прячется за отдельными задачами, уравнениями, областями исследований. Возникает своеобразная натурфилософия компьютерной эры, которая направлена на выяснение, какой смысл исследователи будут вкладывать в слово “понимать”».

Идея междисциплинарности родилась в ходе развития научного знания, но входит в область технологий только сейчас. Многие изучаемые процессы или проектируемые технологии описываются одними и теми же математическими моделями и предполагают те же пути решения поставленных задач. Теория самоорганизации, или синергетика, является вполне сложившейся наукой, использующей в качестве инструмента междисциплинарный подход, который представляет собой множество, образованное пересечением трех сфер: предметного знания, математического моделирования и философской рефлексии. Моделирование прочно вошло в инструментарий современного исследователя, с его помощью открываются неизвестные стороны изучаемых объектов, прогнозируется эволюция их свойств. С развитием нанотехнологий общество получит новые виды материалов и образцов техники, с их помощью конструкционные металлы, широко используемые в машиностроении, приобретут уникальные свойства благодаря направленному изменению структур, а сопутствующие отрасли получат новый стимул для развития.

Обратим взгляд на быстроразвивающиеся уникальные нанотехнологии и наноматериалы. И здесь краеугольным камнем является междисциплинарность: физики, химики, математики, биологи и инженеры трудятся над этой глобальной проблемой и весьма весомые результаты уже достигнуты. Выявим абстракции микроскопического и мезаскопического уровней.

Ныне в машиностроении предъявляются повышенные требования к применяемым в конструкциях материалам, в особенности к легким и прочным сплавам на основе Al и Ti, конструкционным сталям, а также труднодеформируемым сплавам. Характерна потребность в металлах и сплавах с высоким комплексом физико-механических свойств, которые позволят оптимизировать и усовершенствовать конструкции машин, механизмов и устройств, повысить производительность агрегатов, сроки их службы, а также уменьшить массу изделий и узлов, сократить затраты энергии на их привод и соответственно, снизить загрязнение окружающей среды. Высоким требованиям, благодаря наличию сильно измельченной структуры, что, в свою очередь, подразумевает повышенные механические свойства, отвечают субмикроструктурные (СМК), а также нанокристаллические (НК) материалы или наноматериалы. Под этими материалами принято понимать материалы, размер кристаллических зерен которых не превышает 100 нм, по крайней мере, в одном направлении. Выделяют крупнозернистые материалы, СМК-материалы или ультрамелкозернистые, НК-материалы, а также материалы, размер зерен структуры которых меньше 1 нм. Изучение материалов, обладающих наноструктурой, позволяет оценивать их свойства, а также эксплуатационные характеристики, которые имеют существенное отличие от крупнозернистых аналогов.

На глазах у нынешнего поколения ученых произошло закономерное событие: в ходе научно-технического прогресса в руках исследователей появились новейшая регистрирующая аппаратура, уникальные технологические машины и оборудование, интеллектуальные средства испытаний, вычислений и измерений, расширившие возможности исследований макро-, микро- и наномира. То есть в ходе смены стандартов научных исследований возник новый уровень понимания технологических и металлургических проблем, связанных с возможностями управления структурообразованием материалов, а прежние задачи представляются в новом свете и для них предлагаются новые решения [4]. Современное научное общество является катализатором смены парадигмы, смены, которая обеспечит тематикой для будущих исследований ученых и инженеров, в том числе занимающихся решением прикладных проблем, таких, как нанотехнологии в машиностроении.

В этом смысле прорывными технологиями получения конструкционных наноматериалов являются тиксоштамповка и способы интенсивной пластической деформации компактных металлов и порошков [5–10]. Посмотрим на процессы пластической деформации с позиций бурно развивающейся в настоящее время нелинейной науки о самоорганизации сложных систем под названием синергетика [11]. Синергетика (от греч. synergetike – содружество, коллективное поведение) – наука, изучающая системы, состоящие из многих подсистем самой различной природы; наука о самоорганизации простых систем и превращения хаоса

са в порядок. Под самоорганизацией понимается появление определенного порядка в однородной массе и последующего совершенствования и усложнения возникающей структуры, т. е. образование структуры происходит как за счет внешнего воздействия, так и за счет внутренней перестройки. Самоорганизация, по определению автора науки, немецкого физика Германа Хакена, это «спонтанное образование высокоупорядоченных структур из зародышей или даже из хаоса, спонтанный переход от неупорядоченного состояния к упорядоченному за счет совместного, кооперативного (синхронного) действия многих подсистем» [12]. Идеи синергетики носят междисциплинарный характер. Они подводят базу под совершающийся в естествознании глобальный эволюционный синтез. Поэтому ученые в синергетике видят одну из важнейших составляющих современной научной картины мира. Предназначение синергетики как науки заключается в том, чтобы определить основные принципы выживания из хаоса высокоорганизованных систем. Так, Г. Хакен в предисловии к своей книге «Синергетика», пишет: «Я назвал новую дисциплину синергетикой не только потому, что в ней исследуется совместное действие многих элементов систем, но и потому, что для нахождения общих принципов, управляющих самоорганизацией, необходимо кооперирование многих различных дисциплин» [там же].

При синергетическом подходе исследователь, создавая условия для перехода металла в пластическое состояние, умело используя сочетания траекторий деформирования, управляя размерами очагов деформации и термомеханическими режимами, создает необходимые условия как фазовых превращений, так и направленной упорядоченности в хаотическом расположении зерен в ходе фрагментации структур. На этом пути [13; 14] удастся вызвать в металле необходимый отклик в виде самоупорядоченности структур на разных этапах деформирования.

Новизна синергетического подхода заключается в следующем [11; 15]. Хаос, в основном выступая как разрушитель, в нашем случае созидает. Понятие «хаос» оказалось гораздо более глубоким, чем представлялось ранее. Поэтому наряду с понятием «хаос» появилось определение «беспорядок», как нарушенный порядок. Хаотическое состояние содержит в себе неопределенность – вероятность и случайность, которые описываются при помощи понятий информации и энтропии. Одной из причин, обусловивших использование синергетического подхода, является необходимость при решении ряда задач науки и техники анализировать сложные процессы различной природы, используя при этом новые математические методы [29].

Современная наука, как утверждают С.П. Курдюмов и Г.Г. Малинецкий [15], все чаще формулирует свои закономерности, обращаясь к более богатому и сложному миру нелинейных математических моделей. Новым инструментом изучения нелинейных моделей стал вычислительный эксперимент [15–18]. Ученые получили возмож-

ность «проиграть» модель изучаемого процесса во многих вариантах, используя мощные ЭВМ. И что особенно важно, вычислительный эксперимент может привести к открытию новых явлений. Для этого нужны понятия, подходы, обобщения, которые отражают важнейшие общие черты исследуемых явлений и помогают построить их адекватные математические модели [11; 15; 18–21]. Все это также стало мощным стимулом развития синергетики.

В синергетике широко используют уравнения в частных производных. Эти уравнения – инструмент исследования нестационарных процессов, в которых изучаемые величины могут изменяться не только во времени, но и в пространстве. Разрабатываться он начал два века назад в связи с необходимостью решения задач гидродинамики и механики сплошных сред. Наиболее простыми и детально изученными являются линейные уравнения в частных производных [15]. Проявим математические модели в области механики сплошной среды [13]. Одним из первых уровней абстрактного восприятия и построения моделей является макроскопический масштабный уровень для поликристаллических материалов, рассматриваемый в отношении всего деформируемого тела или его выделенного объема. Минимальные макроскопические размеры l_{imin} для объемного тела обычно принимают не менее $10d_c$, где d_c – средний размер зерен [4]. Это означает, что средние свойства материала в любом выбранном объеме тела, ограниченном радиусом не менее $5d_c$, будут примерно одинаковыми и характерными для всего тела в целом. Осреднение свойств на макроуровне позволяет рассматривать кристаллическое тело как модель сплошной среды с постоянной плотностью, состоящую из материальных точек с бесконечно малыми размерами, а его деформированное состояние – как результат относительных перемещений таких точек, определяемый методами механики сплошных сред [13].

При анализе деформированного состояния материальную точку с окрестностями представляют моделью в виде куба с ребром, равным dx_i , где индекс i – принимает значения 1, 2, 3 для главной трехмерной пространственной системы координат [22]. На площадках куба действуют напряжения, приводящие к изменению его размеров и формы. Деформация в бесконечно малой окрестности материальной точки математически описывается симметричным относительно главной диагонали тензором деформаций. Компоненты тензора, расположенные на главной диагонали, характеризуют относительную степень растяжения и/или сжатия линейных размеров материальной точки. Оба индекса у осевых компонент деформации принимают одинаковыми и их значения определяют как $\varepsilon_{ii} = \Delta(dx_i)/dx_i$, где Δ – приращение или уменьшение длины ребра dx_i куба при деформации. Остальные 6 компонент имеют не-

одинаковые индексы и характеризуют изменение углов при деформации изначально прямых углов между смежными гранями кубического элемента, их называют деформациями сдвига [4; 7; 13; 14; 22; 23].

С учетом симметричности тензора и условия несжимаемости деформируемого тела, число независимых компонент, полностью определяющих деформированное состояние в материальной точке, равно 5. Если в каждой материальной точке тела тензоры деформации равны, т. е. равны соответствующие компоненты тензоров, то деформация является однородной.

Как правило, большие деформации, имеющие место при интенсивной пластической деформации, неоднородны [5; 6; 14; 22].

На практике расчет тензорных полей деформации, требующий применения специальных компьютерных программ, сложен и неудобен для анализа. Поэтому деформированное состояние материала удобно оценивать скалярной величиной истинной степени деформации – с точностью до постоянной, равной корню квадратному из второго инварианта тензора деформации.

Для измельчения структуры большое значение имеет применяемая схема деформирования [14; 22; 23], зависящая от схемы нагружения, предопределяющей траекторию деформации материала. По длине траектории оценивают степень деформации, по кривизне – характер процесса [4; 5; 13; 23].

Траектория с малой кривизной свойственна монотонным процессам, в которых главная ось тензора деформации (след тензора) не поворачивается относительно координатных осей, связанных с деформируемым образцом. С увеличением кривизны или изломов траектории немонотонность возрастает. В теории обработки металлов давлением к немонотонным и существенно немонотонным относят такие процессы, в которых угол между направлениями деформирования в двух последовательных проходах меняется соответственно на 90° и 180° [4; 13; 23].

Строго говоря, к монотонным относят только голономные процессы, отличающиеся тем, что в них напряжение течения материала не зависит от скорости деформирования. Пластическое течение кристаллических материалов даже при простейших схемах деформирования – процесс неголономный [4; 5].

Способы интенсивной пластической деформации, такие, как кручение под высоким квазигидростатическим давлением [6], равноканальное угловое прессование (РКУП) [7; 25; 26], всесторонняя ковка [14], винтовая экструзия [9; 27] и другие, – это примеры немонотонных процессов деформирования. В этих способах инструментом активно задается переменная по величине и направлению скорость деформирования, соответственно изменяется направление деформирования материала и положение следа тензора деформации по отношению к системе координат, связанной с заготовкой. Течение материала в этих условиях приоб-

ретаёт ротационный («вихревой») характер. Изменение направления деформирования приводит к преимущественному по сравнению с квази-монотонными процессами формированию зерен, а не субзерен [4; 5; 24; 28]. Существенное влияние на измельчение структуры оказывают особенности реализуемой механической схемы деформации [14; 22; 23].

Абстракции микроскопического уровня характеризуют микро-структуру металлических материалов, отличающуюся распределением по объему зерен – кристаллитов микродефектов. К таким дефектам прежде всего относят линейные дефекты – дислокации, а также планарные дефекты – дефекты упаковки, границы зерен и фаз. В двух поперечных направлениях размеры дислокационной линии соизмеримы с периодом кристаллической решетки, а её длина на порядки превосходит период и может достигать размера зерна. Протяженность границ в двух направлениях в несколько раз больше размеров обособляемых ими зерен и фаз, при этом толщина границ составляет всего $1 \div 3$ межатомных расстояния [5], такова абстракция микроскопического уровня пластической деформации.

Количественные оценки масштабов микроуровня в разных работах отличаются. Например, в [24] микроуровень характеризуют диапазоном $\sqrt{\rho} \ll 1 \leq d$, где ρ – скалярная плотность дислокаций, d – размер зерна, $\sqrt{\rho} \sim 100b \sim 10^{-8}$ м), а в работе [28] этот уровень ограничивают диапазоном размеров $(1 \div 30) b$ и объемом $(100 \div 1000) V_a$, где $V_a \sim b^3$ объем атома.

Очевидно, что в зависимости от размера зерен в металлах, который в общем случае может быть в пределах от нескольких десятков миллиметров до нескольких нанометров, верхняя граница микроуровня будет существенно различаться.

На микроуровне рассматривают относительные сдвиги зерен по разделяющим их границам, т. е. выявляют сдвиг в плоскости границы – зернограницное проскальзывание. Такие сдвиги существенны по сравнению с межатомными расстояниями и могут перемещать их друг относительно друга на расстояния, соизмеримые с размерами зерна, т. е. приводят к смене соседей. Для описания таких сдвигов используют в основном два подхода. В первом используют так называемые зернограницные дислокации (ЗГД) [4]. Во втором – вакансии, концентрация которых в границах зерен, особенно большеугловых с неупорядоченной структурой, существенно больше, чем в объемах кристаллической решетки. В пределе измельчение зерен приводит к аморфизации металлов. В аморфизированном состоянии отсутствует упорядоченное кристаллическое расположение атомов, и поэтому теряется смысл описывать его такими нарушениями, как дислокации. Представление сдвига по границам зерен, как перемещения ЗГД, оправдано для относительно больших размеров зерен, в

границах которых плотность таких дислокаций еще не достигла предельной, оцениваемой значением порядка 10^8 м^{-1} [5; 8].

Говоря об абстракциях мезоскопического уровня, необходимо отметить, что при деформациях $\varepsilon \geq 0,2 \div 0,3$ на возникновение и перемещение отдельной дислокации существенное влияние оказывают внутренние напряжения, создаваемые скоплениями дислокаций, которые при таких деформациях преобразуются в новые формы – границы слабоориентированных областей и различные коллективные ансамбли сильно взаимодействующих и взаимосвязанных дислокаций, рассматриваемых как мезодефекты. Характер перемещения мезодефектов отличается от перемещений дислокаций тем, что их движение носит некристаллографический характер и оставляет в кристаллическом материале след в виде новообразованной внутренней поверхности – полосовой границы [5].

Характерная для мезоскопического уровня область в крупнозернистых материалах берет начало от размера порядка 0,1 мкм и доходит до 1000 мкм. Столь широкий мезоскопический диапазон иногда разделяют на два интервала с границей между ними порядка нескольких десятков микрометров, что соответствует размерам таких структурных элементов, как ячейка, блок, субзерно и других областей разориентации, возникающих в пределах деформируемых исходных зерен. Максимальный размер второго интервала соответствует размерам зерна или группы зерен, в пределах которых образуются деформационные полосы и полосы сдвига – мезополосы [5]. Масштабы мезоуровня можно определить по размерам образующихся при деформации описанных мезодефектов и величине их некристаллографических перемещений, которые в конкуренции с дислокационным сдвигом становятся основным механизмом деформирования.

При интенсивных деформациях различие в размерах между такими структурными элементами, как дислокационные ячейки, блоки, микрополосы (в поперечном направлении) и зерна, нивелируются вследствие уменьшения их размеров до значений $\sim 0,1$ мкм и менее. В конечном счете формируются практически одинаковые в размерах зерна и субзерна с преобладанием доли большеугловых границ, т. е. имевшие место в структуре мезодефекты фрагментируются и переходят на микро- и субмикроструктурные уровни. Поэтому оценка масштаба мезоуровня в субмикроструктурных и нанокристаллических материалах по размерам структурных элементов, характерным для крупнозернистых состояний, теряет смысл [4; 24].

В статье осуществлена попытка взглянуть на nanoиндустрию с философских позиций, проследить развитие междисциплинарного подхода в нелинейной науке, представить математическими моделями механизмы деформации; обосновать формирование структур конструктивных материалов с позиций синергетики как процесса самоупорядоченно-

сти в результате направленного действия применяемых способов интенсивной пластической деформации. В зависимости от рассматриваемого масштабного уровня пластической деформации и глубины ее абстрактного представления моделями, несмотря на идентичные механизмы деформации, конечные результаты формирования структур на каждом из масштабных уровней будут разными, определяющим фактором которого является совокупность накопленных деформаций в материале.

Список литературы

1. Уваров, Александр Иосифович [Электронный ресурс] // http://mirslouvrei.com/content_bigbioenc/uvarov-aleksandr-iosifovich-125599.html#ixzz2vetSfouq.
2. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: хаос, структуры, вычислительный эксперимент. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 312 с.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: ФИЗМАГЛИТ, 2005. 416 с.
4. Утяшев Ф.З. Современные методы интенсивной пластической деформации. Уфа: УГАТУ, 2008. 313 с.
5. Кайбышев О.Л., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов. М.: Наука, 2002. 438 с.
6. Бриджмен П. Исследования больших пластических деформаций и разрыва. Влияние высокого гидростатического давления на механические свойства материалов. М.: Изд. Иностранной литературы, 1955. 444 с.
7. Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск: Наука и техника, 1994. 232 с.
8. Латыш В.В., Салищев Г.А., Кандаров И.В. и др. Эффективность применения интенсивной пластической деформации в технологическом процессе изготовления поковок лопаток // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2012. № 8. С. 18–25.
9. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Орлов Д.В., Сынков С.Г. Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций. Донецк: Фирма ТЕАН, 2003. 87 с.
10. Сосенушкин Е.Н., Овечкин Л.М., Сосенушкин А.Е. Совершенствование процессов интенсивной пластической деформации. // Вестн. МГТУ «СТАНКИН». 2012. № 1 (18). С. 22–25.
11. Малинецкий Г.Г. Чтоб сказку сделать былью ... Высокие технологии – путь России в будущее. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 224 с.

12. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
13. Ильющин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд. Моск. Ун-та, 1978. – 287 с.
14. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов / пер. с англ. М.: Машиностроение, 1968. 504 с.
15. Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика – теория самоорганизации. Идеи, методы, перспективы. М.: Знание, 1983. 64 с.
16. Сосенушкин Е.Н., Овечкин Л.М., Сосенушкин А.Е. Экспериментальная проверка адекватности компьютерного моделирования процесса равноканального углового прессования // Состояние, проблемы и перспективы развития кузнечно-прессового машиностроения и кузнечно-штамповочных производств. Рязань: ОАО «Тяжпрессмаш», 2009. С. 169–174.
17. Сосенушкин А.Е., Артес А.Э., Сосенушкин Е.Н. Математическое моделирование равноканального углового прессования // Технология машиностроения. 2011. № 12. С. 53–56.
18. Сосенушкин А.Е., Сосенушкин Е.Н., Яновская Е.А. Моделирование кинематически возможных полей скоростей процесса углового прессования в пересекающихся каналах для расчета энергосиловых параметров // Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем: Материалы II международной научной конференции «Моделирование нелинейных процессов и систем». Т. 2. Вып. 15. М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2013. С. 185–193.
19. Сосенушкин Е.Н., Сосенушкин А.Е. Оценка силовых параметров и деформированного состояния заготовки при равноканальном угловом прессовании // Тр. междунар. науч.-техн. конф. «Современные металлические материалы и технологии». СПб.: Санкт-Петербургский ГТУ, 2011. С. 233–235.
20. Сосенушкин Е.Н., Яновская Е.А., Сосенушкин А.Е. Верхняя оценка силовых и деформационных параметров равноканального углового прессования в параллельных каналах // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2012. Т. 14. № 4 (5). С. 1291–1294.
21. Сосенушкин Е.Н., Овечкин Л.М., Климов В.Н., Сосенушкин А.Е., Сапронов И.Ю. Влияние кинематики течения металла на эволюцию микроструктуры и свойства заготовок при равноканальном угловом прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2012. № 11. С. 19–22.
22. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
23. Ганаго О.А. Критерий выбора механических схем деформации с развитыми сдвигами // Сб. ст. Второго китайско-советского семи-

- нара по теории и технологии кузнечно-штамповочного производства. Пекин, 1990. С. 1–6.
24. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Пегас, 2000. 272 с.
25. Штамп для равноканального углового прессования / Сосенушкин Е.Н., Овечкин Л.М., Сосенушкин А.Е. Патент на изобретение RUS№2440210 от 16.07.2010.
26. Штамп для углового прессования/ Сосенушкин Е.Н., Сосенушкин А.Е., Яновская Е.А. Патент на полезную модель RUS№133440 от 20.10.2013.
27. Бейгельзимер Я.Е., Прокофьева О.В., Кулагин Р.Ю. Пластичность субмикрорекристаллических материалов // Обработка материалов давлением. Краматорск: ДГМА, 2009. № 2 (21). С. 115–118.
28. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие для студентов вузов. М.: ИЦ «Академия», 2005. 192 с.
29. Войцехович В.Э. Современная научная картина мира и антропный принцип // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Философия. 2009. № 2. С. 23–40.

NANOTECHNOLOGIES IN THE PERSPECTIVE OF NONLINEAR SCIENCE: PHILOSOPHICAL ANALYSIS

E.N. Sosenushkin

MSTU «STANKIN», Moscow

The article is aimed at the study of philosophical problems of development of nonlinear science. As an example the production technology of various nanostructure construction materials is considered. Systemically, within the synergetic approach, abstract models of the deformation mechanism and large-scale levels of formation of structures of construction materials are presented.

Keywords: *philosophy, interdisciplinary approach, synergetic, abstract models, macro, - mezo - and micro levels of formation of structures.*

Об авторе:

СОСЕНУШКИН Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы пластического деформирования», ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», Москва. E-mail: sen@stankin.ru

Author information:

SOSENUSHKIN Evgeny Nikolaevich – Doctor of Engineering, Professor of the Department of «Systems of plastic deformation», MSTU «STANKIN», Moscow. E-mail: sen@stankin.ru