

Прорыв от макро- к наноуровням в машинах и процессах обработки давлением при производстве металлопродукции нового поколения

Рассмотрены объективные предпосылки перехода технических систем с макроуровня через микроуровень на наноуровень, исходя из современного уровня развития науки и техники в области процессов и машин обработки металлов давлением. Определены приоритетные направления развития, исходя из мировых тенденций, и приведены реальные примеры мировых достижений в этом направлении.

Ключевые слова: макро, нано, микро, наноматериалы, металлургия

Введение. В начале XXI века в мире, с целью повышения конкурентоспособности и миниатюризации изделий, протекают такие процессы, как активное применение инновационных технологий в производственных процессах, создание прогрессивной эколого-технологической модели производства, уменьшение цикличности производства. Причем наряду с миниатюризацией приборов уменьшаются и геометрические размеры используемой металлопродукции. В ряде случаев существующие массовые технологии нуждаются в кардинальном обновлении, поскольку они уже достигли своего теоретического предела и не могут дальше развиваться в направлении уменьшения размеров готовой продукции. Высокие требования к готовой продукции выдвигают в свою очередь также повышенные требования и к технологии ее изготовления на всех стадиях производства, а также к технологическому инструменту. Поэтому необходимо совершенствовать на качественно новом уровне традиционные и создавать новые технологии изготовления прецизионной металлопродукции. В первую очередь необходимо создавать технологические схемы изготовления продукции с минимальным количеством повторений однотипных технологических операций производственного цикла. Тем не менее нельзя забывать о качестве продукции и реальных возможностях технологического инструмента. Поэтому необходимым является получение исходной заготовки с размерами, максимально приближенными к размерам готового изделия и микроструктурой, которая обеспечит в дальнейшем необходимый уровень свойств в готовой продукции. К тому же современное производство должно быть достаточно мобильным, то есть переход с одного вида продукции на другой должны происходить очень быстро – это уменьшит время выполнения заказа и увеличит конкурентоспособность и производительность данного производства. С уменьшением геометрических размеров металлопродукции в сторону миниатюризации и выдвиганием более жестких требований возникла ситуация практической невозможности ее изготовления с помощью существующих макрооборудования и технологий. Поэтому крайне необходимым становится создание нового прогрес-

сивного микрооборудования и соответствующих прецизионных технологий. Сегодня в мире особое место занимают наукоемкие технологии для областей производства с высоким уровнем добавленной стоимости, к которым относятся нанотехнологии. Их основные преимущества состоят в том, что они требуют небольших затрат энергии, материалов, не нуждаются в значительных производственных площадях. С другой стороны, их развитие вызывает потребность в высоком уровне подготовки ученых, инженеров и технических работников, а также особой организацией труда [1, 2].

В XXI в. наблюдается новый всплеск научно-технического прогресса в части получения новых материалов и изготовления трубной продукции с новым уровнем качественных характеристик. Наблюдается укрепление тенденции перехода от макро- к микро- и нано- при создании новых материалов и трубной продукции из них. Это, в свою очередь, требует реализации новых подходов в создании нового поколения оборудования и технологического инструмента, а также применения иной философии при разработке технологий уже не на макроуровне, а на микроуровне, также в перспективе – наноуровне. В будущем будут применяться прецизионные технологии. Уже сейчас строятся современные специализированные производства, которые оснащаются прогрессивным оборудованием и новыми ресурсосберегающими и экологично чистыми технологиями [1-5].

Состояние вопроса. В процессе эволюции природа использовала структуры разных уровней иерархии – атомарный, молекулярный, нано-, микро- и макро-. В чем-то научно-технический прогресс повторяет путь природы, и человек не вправе нарушать ее законы. Так, промышленная революция проходила в миллиметровом диапазоне, полупроводниковая – в микронном, и, наконец, с наступлением нанотехнологической мы уходим на миллиардные доли метра [1, 4].

Нанотехнологии пробивают себе дорогу с помощью постоянно совершенствующихся устройств проникновения в микромир.

Появление новых материалов с новыми свойствами всегда играли большую роль в истории

цивилизации, выполняя не только узкопроизводственные функции, но и социальные.

Достаточно вспомнить, как сильно отличались каменный и бронзовый века, века пара и электричества, атомной энергии и компьютеров [6, 7].

Воздействие нанотехнологий на жизнь обещает иметь всеобщий характер, изменить экономику и затронуть все стороны быта, работы, социальных отношений.

По одной из известных классификаций технологии можно разделить по уровню применения (микро-, макро- и глобальные технологии) и по функциональному составу (технологии заготовительного, основного и вспомогательного производства) [6, 7].

Многие ученые мира на протяжении длительного периода времени пытались понять и повторить технологии, которые «изобрела» природа за долгие годы эволюции.

Основной целью таких поисков являлись попытки разгадать загадки природы и поставить эти результаты на службу человеку.

Долгое время глубина познания окружающего мира ограничивалась только переходом от макроуровня к микроуровню, а из-за отсутствия необходимого инструмента сдерживался переход к наноуровню [6, 7].

Существующие макротехнологии в традиционной металлургии достигли своего верхнего предела, который уже не обеспечивает современные требования к продукции. Это объясняется опережающим развитием высокотехнологичных и наукоемких отраслей, в первую очередь микроэлектроники [1-5].

Начиная со второй половины XX века, предпринимались шаги по реализации различных подходов получения металлопродукции с новыми свойствами (нетрадиционными методами) с использованием процессов и машин обработки давлением.

Среди наиболее ярких достижений в этой области – применение интенсивных пластических деформаций, которые в свою очередь классифицированы следующим образом [1, 5]:

– большие деформации (П. Бриджмен, 1960г.), которые имели место при прокатке фольги, волочении рояльной проволоки, растяжении в условиях больших гидростатических давлений (20-30 кбар) вплоть до разрыва, в результате чего наблюдали образование ультрамелкозернистой структуры на основе деформационных ячеек;

– развитые деформации (В. Рыбин, В. Лихачев, 1980 г.);

– интенсивные деформации (Р. Валиев, 2000 г.).

В последнем случае наблюдается повышение пластичности после РКУ-прессования. Полученные наноматериалы обладают уникальными механическими свойствами: высокая прочность, хорошая пластичность, высокая вязкость, склонность к сверхпластичности, низкий коэффициент трения.

Современное состояние металлургии. Современные производства в металлургии достигли значительных масштабов: выплавка стали в мире превысила 1,3 млрд т в год; почти 90 % выплавленной стали перерабатывается в металлопродукцию с использованием различных способов обработки ме-

таллов давлением (прокатное, трубное и кузнечно-штамповочное производства). В основном, как это уже отмечалось выше, это многотоннажные производства. Сейчас стало настолько ясно, что со своими громоздкими производствами металлургия, в частности обработка металлов давлением, весьма тяжело приспособляющейся к рынку, упускает время. В настоящее время только сравнительно незначительный сегмент в металлургическом производстве занимает специальная металлургия, направленная на производство прецизионных сплавов и металлопродукции из них.

Сегодня многих ученых в мире интересует ответ на вопрос: «Возможен ли прорыв в металлургии от макро- через микро- к нано-?»

Эксперты отмечают, что черная металлургия как отрасль трудно совместима с нанотехнологиями (там производство отличается большим тоннажем). Существует утверждение, что на западных сайтах по нанотехнологиям вы не найдете ни слова о металлургии как таковой [1, 3-5].

Действительно, большая черная металлургия направлена на массовое производство металлопродукции. Кроме того, черная металлургия полного цикла относится к числу зрелых отраслей с низкой инвестиционной привлекательностью и характеризуется большой инертностью.

Тем не менее целесообразно рассматривать и проводить исследования в сфере получения наноструктурированных сталей. В свое время известный ученый-металлург, академик Н. П. Лякишев отмечал [8, 9]: «...известно, что свойства металлов улучшаются «измельчением» их структуры. Чем мельче частицы, из которых состоит, например, сталь, тем выше ее качество. Прочность металлов в наносостоянии возрастает в 3-4 раза, твердость – во сто крат, несказанно усиливается стойкость к коррозии. Уже есть методы получения нанопорошков».

Здесь сразу же следует отметить, что усиливается тенденция в поиске новых подходов в получении сталей и сплавов с новыми эксплуатационными характеристиками (более высокая прочность, коррозионная стойкость и др.). Это обусловлено более жесткими требованиями со стороны их потребителей.

На современном этапе развития производства прецизионной металлопродукции в соответствии с современными требованиями потребителей и усиливающейся важнейшей тенденцией в области развития современных отраслей является миниатюризация всех ее компонентов и систем. В этой связи можно отметить достижения в данном направлении. Существуют технологии и производства [2, 3]: осеботонкостенных труб (внешний диаметр от 20 до 0,1 мм; толщина стенки от 0,1 до нескольких микрометров); фольги (толщина 1 мкм и менее), причем тончайшая фольга в мировой практике известна под названием сусальное золото и ее толщина составляет 0,5 мкм. Толщина фольги из алюминия колеблется в пределах 1,5-7,0 мкм, из меди и олова – 7 мкм; проволоки (диаметром до нескольких микрометров).

С уменьшением геометрических размеров металлопродукции в сторону миниатюризации и выдвиганием более жестких требований, возникла ситуация практической невозможности ее изготовления с помощью существующих макрооборудования и технологий. Поэтому крайне необходимым становится создание нового прогрессивного макрооборудования и соответствующих прецизионных технологий [1-4].

В индустриально развитых странах мира на многих современных предприятиях используются агрегаты для получения ленты, проволоки и полой трубной заготовки непосредственно из жидкого металла. Это, прежде всего, обеспечивает плотное строение металла, отсутствие усадочной раковины, чистоту поверхности и сокращение дефектов металлургического производства (раковин, газовых включений, пузырей и т. п.), улучшение структурной однородности и получение заготовки неограниченной длины. Металлургическая отрасль производит в основном конструкционные материалы, поэтому от использования нанотехнологий в этом сегменте, по крайней мере в ближайшее время, не стоит ожидать таких невероятных чудес, как появление способных к самопроизводству наносистем-репликаторов, нанопреобразователей энергии или наномедицинских роботов-манипуляторов.

Вокруг нанотехнологий поднято слишком много шумихи, хотя пока имеет смысл вести речь лишь о создании новых материалов, обладающих свойствами, которые в обычном микроструктурном состоянии не проявляются.

Как показывает мировая практика, самый быстрый эффект, как правило, дает использование нанотехнологий в мелкосерийных производствах.

Между тем инновационное развитие страны нуждается в взаимосвязанных исследованиях и разработках фундаментального и прикладного характера, проводимых на границах различных областей знаний. А также ориентированных на создание новых производств, новых технологий, новых материалов.

Особенности перехода с макро- на микро- и наноуровень. Вместо макро- (колеса, валы, шестеренки) должны работать микро- (молекулы, атомы, ионы, электроны и т. д.), которые легко управляются полями с помощью физико-химических эффектов. На макроуровне идет увеличение размеров и мощности действия рабочих органов систем [6, 7].

Макроуровень – условное понятие, отражающее лишь особенности мышления человека, первый слой восприятия окружающего мира у человека всегда связан с предметами соизмеримыми с ним, непосредственно ощущаемыми свойствами этих предметов. Другие слои мира (как выше, так и ниже человеческого) скрыты, остаются за гранью непосредственного восприятия. Нужен определенный запас знаний, тренировка, некоторые приемы воображения, чтобы расширить видение реального мира. Это один из глубинных видов психологической инерции и с его преодоления начинается элементарная культура изобретательского творчества [6].

Возможности экстенсивного развития технических систем – ТС (за счет изменений на макроуров-

не) быстро исчерпываются, а рост МГЭ (массы, габаритов, энергоемкости) ограничивается, например, физическими пределами. Поэтому переход на микроуровень неизбежен: начинается задействование все более глубинных структур вещества, высвобождение при этом дополнительных резервов энергии, выявление и использование новых (неизвестных на макроуровне) свойств материи, применение более управляемых полей и легкоуправляемых микрочастиц вещества. Это единственный путь интенсивного развития ТС – повышение организованности (с точки зрения целей человека) все более низких системных уровней вещества [6, 7].

Возможны три направления (линии) перехода с макро- на микроуровень:

– увеличение степени дробления вещества и объединение дробных частей в новую систему;

– увеличение степени дробления «смеси» вещества с пустотой (переход к КГМ – капиллярно-пористым материалам);

– замена вещественной части системы на полевую (переход к действию «поле + вещество» или только к полю).

Совмещение нано- с микро- и макро- или третий пласт стратегических задач связан с встраиванием наноразмерных структур и элементов в микро- и макроразмерные конструкции, где необходимо развитие существующих технологий создания элементов с уменьшением предельно-контролируемых размеров. Успехи по миниатюризации устройств во многом связаны с разработкой новых технологий.

Переход на наноуровень. Согласно рекомендации 7-ой Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004 г.) выделяют следующие типы наноматериалов: нанопористые структуры; наночастицы; нанотрубки и нановолокна; нанодисперсии (коллоиды); наноструктурированные поверхности и пленки; нанокристаллы и нанокластеры [4].

Наносистемная техника – полностью или частично созданные на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям.

Предпосылки ожидаемого прорыва от макро- через микро- к нано- в процессах и машинах обработки металлов давлением. В мировой практике определен ряд приоритетных направлений и уже известны реальные достижения, которые можно убедительно считать предпосылками ожидаемого прорыва от макро- через микро- к нано- в процессах и машинах обработки металлов давлением. Отмечается четкая тенденция в комплексном развитии базовых отраслей промышленного сектора мировой экономики: машиностроения, специальной металлургии и др. Среди наиболее значимых и определяющих приоритетов и достижений следует отметить (таблица).

Однако при переходе от макро- к микрообработке возникают ранее не существовавшие проблемы, например, необходимость принятия усиленных мер по соблюдению чистоты в цехе и на рабочем месте

при манипулировании, по учету электростатики и по изменению свойств обрабатываемых деталей, размеры которых составляют иногда порядка 30 мкм.

Кроме того, важным и определяющим вопросом является подготовка высококвалифицированных кадров всех уровней [12].

Наиболее значимые и определяющие приоритеты и реальные достижения в металлургии

Приоритетные направления	Реальные достижения
Развитие прецизионного машиностроения, микротехнологий	производство микрооборудования, микроинструмента для изготовления прецизионной металлопродукции с реализацией микротехнологий. известны примеры использования микро- и нанообработки, микро- и нанотехнологий и микроинструментов [11-13]
Разработка новых материалов для инструмента	сверхтвердый режущий инструмент нового поколения, например, из: нанопорошка кубического нитрида бора; нанокристаллического сплава с различным соотношением вольфрама, никеля и азота; наноструктурированного композиционного материала на основе диоксида циркония и др. [11-13]
Разработка новых материалов для производства металлопродукции с уникальными свойствами на основе традиционных металлов [10-17]	аустенитная сталь 12X18H10T с нанокристаллической структурой обладает хорошим соотношением прочности и пластичности; наноструктурированный чистый титан, полученный методом ИПД, имеет высокие прочностные свойства ($\sigma_b = 1100$ МПа) и пластичности ($\delta = 10$ %); новый алюминиевый сверхпрочный сплав высокой прочности, позволяющий увеличивать полезные нагрузки на транспорт и экономию топлива; композиционный материал на основе наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (заготовки фильеров для волочения проволоки, втулки подшипников скольжения); азотирование сплавов никеля и вольфрама – Ni-W, так как образование нитридов приводит к заметному повышению износостойкости и твердости сплава, эти сплавы могут применяться для изготовления лопаток турбин, штампов горячейковки, подшипников; оригинальная наносталь, обеспечивающая повышение мощности ядерных реакторов на энергоблоках на 30-40 %, позволит увеличить проектный срок службы корпуса реактора стационарной АЭС до 100 лет и более; бронзы серии Supralloy, в которых величина зерна не превышает 3 мкм, из которой изготавливают ленты толщиной 0,08 до 0,35 мм и стержни, и успешно заменяют в ряде случаев дорогостоящие специальные сплавы (основные области применения – автомобилестроение и техника связи); экологически безопасные коррозионностойкие стали для ортопедической стоматологии взамен применяемых в настоящее время никельсодержащих сталей и сплавов)
Применение процессов обработки металлов давлением для получения новых материалов [16-25]	для прессования нанопорошков широко применяют одноосное прессование (статическое – в пресс-формах, штамповка; динамическое – магнитноимпульсное; взрывное и вибрационное – ультразвуковое); для получения высокоплотных однородных материалов используется всестороннее – изостатическое прессование (гидростатическое, газостатическое, квазигидростатическое – в специальных пресс-формах под высоким давлением); спекание нанопорошков под давлением; нетрадиционные методы – кручение под гидростатическим давлением, равноканальное угловое прессование, знакопеременный изгиб – к настоящему времени нано- и субмикрокристаллическая структура в ходе ИПД получена в алюминии, железе, магнии, вольфраме, никеле, титане и их сплавах; новый метод всесторонней изотермическойковки с поэтапным снижением температуры деформации, макрометод всестороннейковки является универсальным, он позволяет получать объемные наноструктурные полуфабрикаты из различных металлов и сплавов, таких как магниевые, алюминиевые, титановые, медные сплавы, стали, включая труднодеформируемые никелевые жаропрочные и интерметаллидные сплавы; методы пластического деформирования металлов и сплавов в условиях всестороннего сжатия при криогенных температурах, позволяющие криодеформацией в условиях всестороннего сжатия получать структурные состояния, обеспечивающие металлу высокие механические характеристики в широкой области температур;
Технологические и металлургические приемы [6, 7]	микрелегирование переходными элементами и многоступенчатая термическая обработка с целью создания наноразмерных частиц; создание термически стабильных наноразмерных композитных частиц в Al-Li сплавах и др.; возможность формирования однофазных наноразмерных зерен, занимающих весь объем материала; уменьшение размера зерен в области наномасштаба увеличивает прочностные свойства в несколько раз;

<p>Реальные масштабные инновационные проекты в металлургическом производстве по получению металлопродукции нового поколения</p>	<p>ОАО «Синарский трубный завод» – организовано высокотехнологичное эффективное производство прецизионных труб из нержавеющей сталей и сплавов; ОАО «Челябинский металлургический комбинат» – строительство нового рельсобалочного стана, главной продукцией которого станут железнодорожные рельсы длиной до 100 м, в процессе их выпуска будут применены самые передовые технологии по прокатке, закалке, правке, отделке и контролю качества, а также планируется использовать нанотехнологии, что позволит значительно увеличить скорость движения поездов; ОАО «ММК-МЕТИЗ» – производство стальной арматуры для железнодорожных шпал нового поколения на основе инновационной технологии термомеханической наноструктурирования; разработана технология производства проката для труб нефтегазового комплекса, которая включает как создание новых химических составов сталей, так и совершенствование сталеплавильного производства, непрерывной разливки и ковшовой обработки, термомеханической обработки металла; разработана и внедряется технология интегрированного деформационно-термического производства высокопрочной горячекатаной листовой стали, обладающей уникальным сочетанием микроструктурных характеристик и механических свойств для универсального и специального назначений, в том числе обладающих повышенными бронезащитными характеристиками; новые коррозионностойкие стали аустенитного и аустенитно-ферритного классов предназначены для получения высокопрочных изделий, таких как тончайшая проволока для упругих элементов и медицинский инструмент, а также высоконагруженных деталей; ООО «Научно-производственный центр «Пружина» (г. Ижевск, РФ) – организовано мелкосерийное производство сверхпрочных наноструктурированных пружин для различных отраслей промышленности, в основу производства пружин положена технология высокотемпературной термомеханической обработки металла, позволяющая создавать в нем наноразмерные структуры);</p>
<p>Использование информационных технологий</p>	<p>компьютерное проектирование наноструктур и новых материалов – основная задача, которая стоит перед разработчиками – получить программное обеспечение, которое позволит создавать реалистичные структурные модели материалов и сплавов с целью изучения их физических свойств; компьютерное виртуальное проектирование машин, ее испытание, передача виртуальной модели на завод, адаптация ее под технологический процесс по виртуальным технологическим схемам и передача информации на станки, которые изготавливают ту или иную деталь и др.</p>

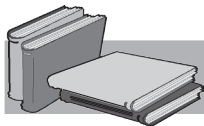
Выводы

Начало XXI века в глобальном масштабе характеризуется повышением конкурентоспособности и миниатюризации изделий за счет применения инновационных технологий в производственных процессах, создания прогрессивной эколого-технологической модели производства, уменьшения цикличности производства. Причем, наряду с миниатюризацией приборов уменьшаются и геометрические размеры используемой металлопродукции. В ряде случаев существующие массовые технологии нуждаются в кардинальном обновлении, поскольку они уже достигли своего теоретического предела и не могут дальше развиваться в направлении уменьшения размеров готовой продукции. Высокие требования к готовой продукции выдвигают в свою очередь также повышенные требования и к технологии ее изготовления на всех стадиях производства, а также к технологическому инструменту. Поэтому возникла необходимость совершенствовать, на качественно новом

уровне, традиционные и создавать новые технологии изготовления прецизионной металлопродукции.

Необходимо создавать, в первую очередь, технологические схемы изготовления продукции с минимальным количеством повторений однотипных технологических операций производственного цикла. При этом нельзя забывать о качестве продукции и реальных возможностях технологического инструмента.

Приведены мировые достижения в различных направлениях (разработка новых материалов для инструмента и для производства металлопродукции с уникальными свойствами на основе традиционных металлов, применение процессов обработки металлов давлением для получения новых материалов, использование технологических и металлургических приемов, развитие прецизионного машиностроения и микротехнологий, использование информационных технологий и др.), которые применяются при реализации масштабных инновационных проектов в металлургическом производстве для получения металлопродукции нового поколения.



ЛИТЕРАТУРА

1. Стасовський Ю. Н., Страшна В. В. Исследование мирового уровня, анализ традиционных технологий и разработка концептуальных основ перспективного применения нанотехнологий и наноматериалов при изготовлении прецизионной продукции / *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 3. – С. 8-14.
2. Стасовський Ю. Н. Прецизионные трубы / Там же. – 2008. – № 1-2. – С. 24-28; № 3-4. – С. 35-39; № 5. – С. 56-58.
3. Современное состояние и перспективы производства и потребления трубной продукции в мире. Сообщение 1 / Ю. Н. Стасовский, В. П. Сокурено, А. Н. Степаненко, Ю. Д. Угрюмов. – М.: Бюллетень. Черная металлургия. – 2014. – № 5. – С. 12-22.
4. Стасовський Ю. Н. Перспективы применения нанотехнологий и наноматериалов при производстве прецизионной металлопродукции / *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. Теорія і технологія виробництва труб*. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – Т. 11. – С. 369-376.
5. Стасовський Ю. Н. Мировая трубная промышленность. XXI век // *Экономика Украины*, 2008. – № 5. – С. 51-57; № 6. – С. 52-56.
6. Саламатов Ю. П. Система законов развития техники: основы теории развития технических систем / Красноярск: Книга для изобретателя изучающего ТРИЗ. INSTITUTE OF INNOVATIVE DESIGN: Изд. 2-е испр. и доп., 1996. – 341 с.
7. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. – М.: Советское радио, 1977. – 127 с.
8. Лякишев Н. П., Николаев А. В. Некоторые вопросы металлургической технологии будущего / *Металлы*, 2002. – С. 12-17.
9. Лякишев Н. П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов / Лякишев Н. П.; *Вестник Российской Академии Наук*, 2003. – Т. 73. – № 5. – С. 422-429.
10. Эрик Ландре. Общие направления развития нанотехнологии до 2020 г. / Пер. с англ. О. Ю. Санфириной; *Российские нанотехнологии*, 2007. – Т. 2. – № 34. – С. 815-819.
11. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии: прогноз направления исследований / Дж. Уайтсайделс, Д. Эйглер, Р. Андерс и др. – Под ред. Р. С. Уильямса и П. Аливисатоса; пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
12. Vepes J. Маленькие детали – большие проблемы / *American Machinist*, США. – 2006. – № 10. – Vol. 150. – С. 28-30, 32.
13. Микропрецизионные обрабатывающие центры / *Fertigung*. – 2006. – V. 33. – № 6. – С. 18-20.
14. Исследования в области обработки миниатюрных деталей / *Cutting Technology*, США. – 2005. – № 4. – V. 6. – С. 18-23.
15. Bren L. Некоторые проблемы микрообработки / *Produktion*, Германия. – 2004. – № 46. – С. 14-18.
16. Прецизионная и микрообработка / *Werkstatt und Betrieb*, Германия. – 2004. – № 10, С. 137-139.
17. Назаров Ю. Ф. Миниатюризация изделий нанотехнологии в ракетно-космической технике / Ю. Ф. Назаров, Д. С. Свириденко // М.: РКТ. – 128 с.
18. Наноматериалы: классификация, особенности свойств, применение и технологии получения / Б. М. Балоян, А. Г. Колмаков, М. И. Алымов, А. М. Кротов – М.: Российские нанотехнологии. – 2007. – С. 28-32.
19. Журнал «Science». – 2009. – № 5. – С. 23-26.
20. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. – М.: Наука. – 1984. – Ч. 2. – 432 с.
21. Gil Sevillano J. Large strain work hardening and textures / Gil Sevillano J., van Houtte P., Aernoudt E. – *Progress in Materials Science*. – 1981. – № 25. – P. 135-141.
22. Sources of Discrepancy Between The Flow Curves Determined in Torsion and Axisymmetric Tension and Compression Testing / J. J. Jonas, G. R. Canova, S. C. Shrivastava, N. Christodoulou; Stanford. – 1981/ *Plasticity of metals at finite strain: theory, experiment, and computation. Proceedings of research workshop held at Stanford University. Div. Of Applied Mechanic*. – July 29. – 1981. Stanford. – P. 206-229.
23. Лещев И. В., Богатов А. А. Получение нанокристаллических материалов при больших деформациях волочением и ИПД при высоких давлениях со сдвигом / Екатеринбург. – УГТУ УПИ. – 2010. – С. 21-25.
24. Развитие атомной энергетики России и Украины – фактор устойчивого межгосударственного сотрудничества / Материалы совместного совещания-семинара РАН и НАНУ. – М.: Наука, 2009. – 357 с.
25. Хаймович П. А. Криодеформация металлов при всестороннем сжатии вопросы атомной науки и техники. – Харьков, Серия: физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 2006. – № 4. – С. 28-34.

Анотація

Стасовський Ю. М.

Прорив від макро- до нанорівнів в машинах та процесах обробки тиском металовиробів нового покоління

Розглянуто об'єктивні передумови переходу технічних систем з макрорівня через мікрорівень на нанорівень, виходячи з сучасного рівня розвитку науки і техніки в галузі процесів і машин обробки металів тиском. Визначено пріоритетні напрямки розвитку, зважаючи на світові тенденції, наведено реальні приклади світових досягнень у цьому напрямку.

Ключові слова

макро-, нано-, мікро-, наноматеріали, металургія

In the article are shown objective pre-conditions of transition of the technical systems are considered from a macrolevel through a microlevel on a nanolevel, coming from the modern level of development of scitech in industry of processes and machines of treatment of metals by pressure. Priority directions of development are certain defined in agreement with world tendencies and real examples of world achievements are cited in this direction.

Оформление рукописи для опубликования в журнале "Металл и литьё Украины":

Материалы для публикации необходимо подавать в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер бумаги А4, книжная ориентация, шрифт Arial – размер 10, междустрочный интервал – 1,5. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- аннотации на русском, украинском и английском языках;
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) экспериментальной статьи: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом).
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть черными, четкими, контрастными, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например - [1]).