

А. Н. Кулик, А. В. Данько, К.Ю.Юрков, А. А. Фрайчак // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематик. зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – С. 269-273. 4. Максимов Е. А. Исследование нового механизма снижения давления и повышения обжатий при несимметричной прокатке / Е. А. Максимов // Металлообработка. – 2010. – № 1. – С. 46–49. 5. Максимов Е. А. Исследование крутящих моментов и изгиба переднего конца полосы при несимметричной прокатке тонких листов / Е. А. Максимов // Оборудование. – 2008. – № 3. – С. 46-49. 6. Асимметричная прокатка толстых листов в чистовой клети стана 3600 / А. П. Митьев, П. С. Гринчук, А. А. Будакова, М. С. Бабицкий. // Усовершенствование технологии производства толстолистовой стали: Сб. научн. тр. – М. Металлургия, 1981. – С. 29-34.

Надійшло до редколегії 28.10.2013

УДК 621.771.23

**Уширение толстых узких листов при прокатке с кинематической асимметрией / Смирнов Е.Н., Митьев А.П., Байков Е.В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2013. – № 12 (1015). – С. 144–148. Библиогр.: 6 назв.**

У лабораторних умовах на зразках зі свинцю вивчали характер пластичної течії металу в поперечному напрямку при асиметричному процесі прокатки товстих листів. Асиметрію створювали різницею швидкостей обертання валків. Встановлено, що при прокатці з кінематичною асиметрією поширення з боку ведучого валка вище, ніж з боку веденого. Результати дослідження дозволяють рекомендувати застосовувати кінематичну асиметрію при прокатці трапецієподібних профілів на гладкій бочці.

**Ключові слова:** поширення, товстий лист, кінематична асиметрія

In the laboratory on samples of lead studied plastic nature of the metal flow in the transverse direction at the asymmetric rolling process thicker sheets. Asymmetry created different velocities of rotation of the rollers. Found that the rolling kinematics asymmetric broadening of the driving roller is higher than the driven side. The study results recommend the use kinematics asymmetry in rolling trapezoidal profiles on the smooth barrel.

**Keywords:** broadening, heavy plate, kinematics asymmetry

УДК 621.774.36

**В. П. СОКУРЕНКО**, докт. техн. наук, проф., научный консультант, ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», Днепропетровск;  
**А. Н. СТЕПАНЕНКО**, гл. инженер, ГП «УКРГИПРОМЕЗ», Днепропетровск;  
**Д. Ю. ГАРМАШОВ**, канд. техн. наук, вед. инженер ОРТП, ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», Днепропетровск;  
**Ю. Д. УГРЮМОВ**, канд. техн. наук, ведущий инженер ОВЭСТ, ГП «УКРГИПРОМЕЗ», Днепропетровск.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ**

Рассмотрены особенности процесса производства труб на трубопрокатных агрегатах с пилигримовыми станами и перспективы его развития. Среди приоритетов для модернизации и реконструкции агрегата 5-12" ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» отмечаются следующие: переход к прямой прошивке гильз из круглой непрерывнолитой заготовки на косовалковом стане, внедрение новых технических решений по снижению технологической обрезки на пилигримовом стане, модернизация подающих аппаратов.

**Ключевые слова:** труба, стан, пилигримовая прокатка, подающий аппарат, заправка, пилигримовая головка, прямая прошивка.

**Введение.** В основу современного процесса горячей пилигримовой прокатки труб положены два изобретения братьев Маннесманн Рейнхарда и Макса, которые предложили сначала получение из круглой заготовки полый толстостенной трубы (гильзы) методом винтовой прошивки на короткой профильной оправке [1], а затем способ периодической раскатки гильзы на цилиндрическом дорне в тонкостенную трубу [2].

За 120 лет усилиями преимущественно немецкой компании «МАННЕСМАНН-ДЕМАГ» (Германия) этот процесс был доведен практически до совершенства.

Нет других способов прокатки труб, покрывающих такой широкий диапазон размеров, как пилигримовый процесс. На станах пилигримовой прокатки имеется возможность производить трубы диаметром от 60 до 700 мм. Также имеется перспектива расширения сортамента по наружному диаметру до 800 мм и более, так как основным ограничением здесь является диаметр пильгервалков.

Среди преимуществ фирма «МАННЕСМАНН-ДЕМАГ» отмечает уникальность пилигримовых агрегатов, которые характеризуются также средней технологической сложностью, что является очень важным фактором для обеспечения стабильности производства.

На этих станах можно производить трубы длиной до 40 метров, в том числе толстостенные и профильные.

Переход на другой размер на пильгерстанах не трудоемкий, что делает их универсальными при прокатке больших и малых партий труб.

И, наконец, необходимо отметить, что определенный состав оборудования пилигримового агрегата может обеспечить прокатку труб практически из любого исходного материала, в том числе из слитков сплошных и полых, непрерывнолитой заготовки сплошной и полый, катаной, ковальной заготовки, биметаллической, а также центробежнолитой.

Современные пилигримовые станы конструкции фирмы «МАННЕСМАНН-ДЕМАГ» отличаются высоким качеством получаемой продукции и повышенным уровнем производительности.

Особенно необходимо отметить значительное повышение эффективности прокатки при применении в качестве исходного материала непрерывнолитой заготовки круглого поперечного сечения.

В тоже время использование такой заготовки, получаемой на установках непрерывной разливки, ограничено ее диаметром.

В настоящее время величина диаметра непрерывнолитой заготовки при стабильном качестве металла ограничена 500 мм, в связи с этим большие пилигримовые агрегаты могут использовать в качестве исходного материала также слитки стационарной разливки и непрерывнолитые заготовки восьмигранного сечения, что, однако, предопределяет необходимость прошивки такой заготовки на прессе с последующей винтовой раскаткой.

На всем протяжении существования пилигримового процесса было по сути всего два главных фактора, которые определяли технико-экономические

показатели пилигримовых агрегатов, это качество исходного материала и работа подающих аппаратов.

С внедрением процесса непрерывной разливки стали, качество исходного материала для пилигримового процесса резко улучшилось и, прежде всего, за счет отсутствия усадочной раковины.

Новые конструкции подающих аппаратов фирмы «МАННЕСМАНН-ДЕМАГ» (Германия) отвечают современным требованиям производства, обеспечивают стабильную величину подачи металла в валки за счет применения гидромеханического механизма подачи, одного из главных условий производительности процесса прокатки, точную кантовку гильзы в каждом цикле на  $90^{\circ}$ , независимо от величины отката, надежное торможение раската при подаче в валки, и автоматизацию процесса пилигримовой прокатки, в том числе затравки.

Проблема состоит в том, что на многих действующих пилигримовых станах эксплуатируются устаревшие подающие аппараты и все эти важные факторы надежной и экономичной работы отсутствуют. Приобретение одного современного подающего аппарата, стоимостью несколько миллионов евро часто недоступно, а ведь для двухклетьевого пильгерстана их нужно не менее 4-5. Поэтому целесообразна поэтапная доработка конструкций действующих подающих аппаратов и их модернизация.

**Анализ опубликованных научных исследований.** Вопросам совершенствования процесса горячей пилигримовой прокатки труб посвящено значительное количество работ, направленных на разработку нового оборудования, совершенствование технологии, улучшение технико-экономических показателей, что делает этот процесс конкурентным и в настоящее время, спустя более 120 лет после его создания.

К недостаткам пилигримового способа относятся относительно низкая производительность (по сравнению, например, с непрерывным способом), повышенный расход металла в технологическую обрезь: затравку и пилигримовую головку.

Для повышения производительности пилигримовых станов была предложена установка за ними косовалковых раскатных машин, что позволило бы увеличить подачу металла в валки при пилигримовой прокатке [3-6]. Вопросам снижения технологической обреза на пилигримовом стане посвящены работы [7÷9], выполненные в НМетАУ, ГП «УКРГИПРОМЕЗ», ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ».

Актуальности вопроса повышения эффективности работы подающих аппаратов посвящены работы [6; 9; 10].

В приведенных, как и в большинстве других работ, основное внимание для совершенствования процесса горячей пилигримовой прокатки труб отводится вопросам улучшения качества исходной заготовки, модернизации действующих подающих аппаратов или их замены на новые современной конструкции фирм Германии и Италии, уменьшению потерь металла в технологическую обрезь.

Ранее актуальный вариант реконструкции пилигримовых агрегатов с установкой за пилигримовыми станами косовалковых раскатных машин в настоящее время потерял приоритетность, в том числе из-за наличия печной окалины на внутренней поверхности труб перед раскаткой. Отсутствие технологии удаления окалины на внутренней поверхности труб сдерживает дальнейшую разработку этого процесса.

**Постановка задачи.** Задачей настоящей работы является определение направлений совершенствования процесса горячей пилигримовой прокатки труб для пилигримового агрегата 5-12" ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», пущенного в эксплуатацию в конце декабря 1968 года.

**Изложение результатов работы.** Пилигримовый агрегат 5-12" ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» («Нижнеднепровский трубопрокатный завод им. Карла Либнехта») был спроектирован по схеме Кальмеса, особенностью которой является использование в качестве исходного материала многогранных слитков. Процесс получения гильзы проходит в две стадии: прошивки слитка в стакан на горизонтальном гидравлическом прессе и последующая раскатка стакана в гильзу на косовалковом стане-элонгаторе. Особенностью схемы Кальмеса является также применение внестановой зарядки гильз дорнами, индивидуальный привод каждой клетки пильгерстана, калибрование труб на многоклетьевых станах, отсутствие горячей правки труб на эгализаторе.

По этой технологической схеме в мире было построено более 20 агрегатов.

Нужно отметить, что эта схема получила распространение в 50-е годы прошлого столетия, когда в качестве исходного материала применялись слитки стационарной разливки. Качество этих слитков круглого поперечного сечения было неудовлетворительным. Наличие развитой усадочной раковины способствовало значительному браку труб по внутренним дефектам, а при разливке металла в слитки, последние имели повышенную отбраковку по горячим трещинам.

Тогда для улучшения качества заготовки было предложено отливать граненые слитки, которые дали существенное снижение брака по горячим трещинам при разливке, но это повлекло за собой необходимость дополнительной деформации таких слитков перед косовалковой прокаткой.

Граненые слитки прошивались в стаканы на вертикальных или горизонтальных гидравлических прессах. Необходимо отметить, что с точки зрения снижения разностенности при прошивке предпочтительнее вертикальные прессы.

После ввода в эксплуатацию агрегата 5-12" было отмечено низкое качество внутренней поверхности стаканов при прошивке на горизонтальном прессе, вследствие существенного отклонения прошивного пуансона к концу прошивки, дефектная осевая часть слитка не выдавливалась полностью в доньшко стакана, как предполагалось, а размазывалась по внутренней поверхности стакана, что приводило, в итоге, к повышенной отбраковке труб по внутренним дефектам.

Кроме того, предусмотренное по проекту общее обжатие по диаметру 25 мм на 12-ти клетьевом калибровочном стане приводило к еще большему раскрытию внутренних дефектов на трубах. В связи с этим, суммарное обжатие по диаметру на калибровочном стане было снижено до 10 мм.

Многолетневая калибровка труб без последующей горячей правки приводила к повышенной концевой кривизне труб, которая не исправлялась при холодной правке. Снижение общего обжатия по диаметру при калибровке способствовало также снижению концевой кривизны труб.

Индивидуальный привод каждой клетки пилгерстана не дал ожидаемого увеличения производительности на 30-40 % за счет увеличения оборотов валков вследствие ненадежной работы подающих аппаратов при повышенных скоростях прокатки.

Применение внестановой зарядки обеспечило повышение производительности пилгерстана на ~10 % за счет снижения вспомогательного времени прокатки.

Проектная мощность агрегата 5-12" в сортаменте 1972 года была определена в 330 тыс. тонн труб в год. Производственная мощность агрегата 5-12" на 1 января 1998 года установлена 249, 5 тыс. тонн в год.

Переход к использованию в качестве исходного материала непрерывнолитой заготовки круглого поперечного сечения производства электросталеплавильного комплекса ООО МЗ «ИНТЕРПАЙП Сталь», а также необходимость повышения качества прокатываемых труб и актуальность снижения расхода металла выдвигают вопрос о перспективах дальнейшей эксплуатации пилигримового агрегата 5-12" цеха нефтегазового сортамента ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ».

По данным фирмы «МАННЕСМАНН-ДЕМАГ» (Германия) имеет место тенденция к модернизации средних и больших пилигримовых агрегатов. При этом малые пилигримовые агрегаты консервируются или заменяются, преимущественно на непрерывные агрегаты.

Модернизация средних и больших агрегатов зачастую проводится с целью расширения сортамента прокатываемых труб в сторону больших размеров, повышения производительности и качества труб путем замены подающих аппаратов на современные, снижения издержек производства путем использования круглой непрерывнолитой заготовки и последующей ее прошивки в гильзу на косовалковом прошивном стане, без промежуточной операции прошивки на прессе.

Рассмотрим вопрос реконструкции ТПА 5-12" с пилигримовыми станами ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» с возможной заменой способа производства, на непрерывный. По этому пути пошли на Северском трубном заводе (г. Полевское, Россия), где имеется аналогичный агрегат 5-12" с пилигримовыми станами. Здесь проводится многолетняя реконструкция без остановки производства с заменой пилигримового способа производства на непрерывный. Вместо прошивного пресса, подогревательной печи и стана-элонгатора был установлен новый прошивной стан конструкции ЭЗТМ. Ведутся работы по

установке непрерывного стана (PQF) с удерживаемой оправкой на свободной площадке. После пуска непрерывного стана предусмотрено выведение из эксплуатации двух клетей пилигримового стана.

Существует проект ГП «УКРГИПРОМЕЗ» по реконструкции ТПА- 5-12" с пилигримовыми станами ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» с установкой непрерывного агрегата PQF в дополнительных пролетах без остановки основного производства на ТПА 5-12".

В связи с тем, что сортамент непрерывного агрегата 159-426 Волжского трубного завода, практически полностью совпадает с сортаментом ТПА 5-12" цеха нефтегазового хозяйства, можно утверждать, что с этой точки зрения замена способа производства не является актуальной.

В связи с особенностями работы трубных станов с малотоннажными монтажными партиями, большинство экспертов и специалистов считают, что пилигримовый способ наиболее отвечает этим особенностям. Как известно, непрерывный способ экономически целесообразен только при больших монтажных партиях. Очевидно, что и этот фактор не в пользу замены способа производства.

Переход на непрерывный способ всегда связывали с использованием в качестве исходного материала непрерывнолитой заготовки круглого сечения, а пилигримовый способ характеризовался использованием более дешевого, но худшего качества слитка. Сейчас ситуация для пилигримового способа кардинально изменилась.

Во-первых, с пуском ООО МЗ «ИНТЕРПАЙП Сталь» ТПА 5-12" получает непрерывнолитую заготовку круглого сечения. Во-вторых, мировой опыт (около 40 лет) использования непрерывнолитой заготовки на пилигримовых агрегатах показывает, что это позволяет повысить качество труб, снизить расход металла. Необходимо учесть, что в мире стоимость 1 тонны непрерывнолитой заготовки ниже стоимости 1 тонны слитка. Поэтому рассмотренный выше фактор также не в пользу замены способа.

Немаловажным фактором, также говорящим не в пользу замены способа является использование при непрерывной прокатке труб среднего и большего диаметров многотонных оправок длиной до 20 м. При переходе к большим диаметрам предел технологической применимости способа обуславливается большим весом внутреннего инструмента в агрегате для раскатки гильзы в трубу. Так, оправка непрерывного стана диаметром 400 мм весит уже 15 т, а дорн такого же диаметра пильгерстана только 5 т. Можно считать, что для труб большого диаметра фактор длинной оправки является одним из главных. Поэтому, непрерывные агрегаты целесообразно все же использовать для получения труб диаметром в диапазоне до 250 мм, в котором они себя хорошо зарекомендовали.

Одним из вопросов повышения эффективности процесса горячей пилигримовой прокатки труб является снижение потерь металла в технологическую обрезь: затравку и пильгерголовку. Разработанные в Институте развития под руководством А.И. Козловского при участии НМетАУ,

УКРГИПРОМЕЗА и ГП «НИТИ» новые технические решения позволяют считать возможным фактическое снижение расходного коэффициента металла на прокате на 3-5 %.

Учитывая стагнацию внутреннего рынка, резкие колебания спроса на трубы на внешних рынках, усиливающуюся конкуренцию в мире, периодические кризисы, характерные для мирового хозяйства, замена пилигримового способа в условиях действующего агрегата 5-12" ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» на высокопроизводительный непрерывный способ экономически не целесообразна в ближайшей перспективе.

В тоже время необходимо учитывать, что стратегические вопросы развития конкретного производства определяются собственниками предприятий и назначенным ими менеджментом.

Директор Института развития ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» А.И. Козловский советовал очень осторожно подходить к решению вопроса коренной реконструкции ТПА 5-12" с пилигримовыми станами и был сторонником модернизации ТПА 5-12" без остановки производства с сохранением пилигримового способа прокатки труб.

Наиболее целесообразной перспективой для действующего агрегата 5-12" ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» является поэтапная модернизация и, прежде всего, переход от схемы с прошивным прессом, подогревательной кольцевой печью и станом-элонгатором к схеме непосредственной прошивки гильз на новом прошивном косовалковом стане. Стан-элонгатор ввиду своего аварийного состояния, а также того обстоятельства, что он не рассчитан на прямую прошивку заготовок большого диаметра, безусловно, подлежит замене на новый современный стан, рассчитанный под необходимые параметры прошивки гильз в связи с перспективой расширения сортамента труб до диаметра 426 мм. В настоящее время актуальной является замена клетки элонгатора для обеспечения прямой прошивки на части сортамента.

Может быть также рассмотрен вариант установки нового прошивного стана параллельно действующему стану-элонгатору без остановки производства. При этом важным вопросом является выбор типа нового прошивного стана.

В качестве одной из первоочередных работ по модернизации эксплуатируемых подающих аппаратов на ТПА 5-12" с пилигримовыми станами ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» следует считать установку механизма докантовки шпинделя форголлера на угол  $90^{\circ}$  для повышения точности труб за счет снижения поперечной разностенности, а также улучшения условий проведения затравочного режима прокатки, что позволит уменьшить время затравки и величину обрезки затравочного конца трубы.

Проведенные предварительные расчеты экономической эффективности новой технологии прямой прошивки круглой непрерывнолитой заготовки на прошивном стане показывают, что экономия затрат составит 143, 22 млн. грн. в год (без учета затрат на модернизацию стана-элонгатора).

**Выводы:**

1. Процесс горячей пилигримовой прокатки труб обеспечивает получение труб широкого сортамента, обладает универсальностью в части использования различных типов исходной заготовки, а также является экономически целесообразным при прокатке малотоннажных партий труб.

2. Внедрение непрерывнолитой заготовки круглого поперечного сечения позволило существенно улучшить качество труб и снизить издержки производства на комплексе: сталь-прокат.

3. Выполненные в Институте развития ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» под руководством А.И. Козловского при участии НМетАУ, ГП «УКРГИПРОМЕЗА» и ГП «НИТИ» исследования позволили наметить пути модернизации оборудования и совершенствование технологии на ТПА 5-12" с пилигримовыми станами.

4. Главными направлениями модернизации ТПА 5-12" следует считать переход к получению гильзы из круглой непрерывнолитой заготовки непосредственно на прошивном косовалковом стане, снижение потерь металла в затравку и пыльгерголовку для увеличения выхода годного, а также модернизацию подающих аппаратов.

5. Опыт зарубежных фирм, эксплуатирующих ТПА с пилигримовыми станами свидетельствует о том, что поэтапная модернизация оборудования является экономически целесообразной в современных условиях путем ее проведения без остановки производства.

**Список литературы:** 1. Патент Германии № 34167 от 27.01.1885 г. 2. Патент Германии № 58762 от 24.02.1891 г. 3. Модернизация и развитие процесса производства труб на агрегатах с пилигримовым станом / О.А. Пляцковский, Б.Г. Павловский, Ю.Д. Угрюмов и др. М.: 1982 (обзорная информация / институт «Черметинформация», сер. «Трубное производство», вып. 2, 27 с.). 4. Анализ и пути совершенствования процессов горячей раскатки труб / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, В.Н. Михайлов и др. Сталь, 2002, № 12, с. 44-47. 5. *Осадчий В.Я.* Техническое перевооружение трубной промышленности. Сталь, 1998, № 7, с. 50-53. 6. *Стасовский Ю.Н.* Перспектива пилигримовой прокатки в современных условиях. «Металл Бюллетень», Украина, 2006, № 6, с. 80-84. 7. Металлосберегающие технологии горячей прокатки труб / Ю.С. Кривченко, В.Ф. Балакин, Ю.Д. Угрюмов и др. Сталь – 2010, № 4, с. 67-72. 8. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента / А.А. Чернявский, В.В. Березовский, Ю.Д. Угрюмов, М.: Металлургия, 1987, – 304 с. 9. Состояние и перспективы развития процесса горячей пилигримовой прокатки труб / А.И. Козловский, В.Ф. Балакин, Ю.Д. Угрюмов ОАО «Черметинформация», Бюллетень «Черная металлургия», 2012, № 7, с. 82-90. 10. Горячее пыльгерование стальных труб с помощью усовершенствованных технологических решений и оборудования / SMS MEER – Huttentechnik. – 2005. – 31 с.

*Надійшла до редколегії 29.10.2013*

УДК 621.774.36

**Перспективы развития процесса горячей пилигримовой прокатки труб // Сокурченко В. П., Степаненко А. Н., Гармашов Д. Ю., Угрюмов Ю. Д. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 148–156. Бібліогр.: 10 назв.**

Розглянуто особливості процесу виробництва труб на трубопрокатних агрегатах з пилигримовими станами та перспективи його розвитку. Серед пріоритетів для модернізації та реконструкції агрегату 5-12» ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» слід відзначити наступні: перехід до прямої прошивки гільз з круглої безперервнолитой заготовки на косовалковому стані, впровадження нових



технічних рішень щодо зниження технологічної обрізи на пілігримовому стані, модернізація падаючих апаратів.

**Ключові слова:** труба, стан, пілігримова прокатка, падаючий апарат, затравка, пілігримова головка, пряма прошивка.

Considered are the peculiarities of the process of production of tubes for tube-rolling aggregates with pilger mill and prospects of its development. Among the priorities for the modernization and reconstruction of the unit 5-12» PJSC «INTERPIPE NTRP» are the following: transition to direct firmware shells from a round of concast billet in piercing mill, implementation of new technical solutions to reduce technological crops on pilger mill, modernization of the feeding apparatus.

**Keywords:** pipe mill, pilger rolling, the feeding apparatus, seed, pilger head, a direct firmware.

УДК 621.771: 669.01(07)

**Е. Н. СОСЕНУШКИН**, докт. техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

## **ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ С ПОЗИЦИЙ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

В статье рассмотрено формирование ультрамелкозернистых и наноструктурных конструкционных материалов с помощью способов интенсивной пластической деформации, создающих условия самоупорядочения хаотично организованной первоначальной зеренной структуры. Системно с позиций синергетики представлены уровни формирования структур конструкционных материалов.

**Ключевые слова:** интенсивная пластическая деформация, макро-, мезо- и микроуровни формирования структур.

**Введение.** Современный уровень развития машиностроения предъявляет 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, отвечают субмикроструктурные (СМК), а также нанокристаллические (НК) материалы или наноматериалы. Под этими материалами принято понимать материалы, размер кристаллических зерен которых не превышают 100 нм, по крайней мере, в одном направлении. Классификация материалов по размеру частиц приведена на рис. [1]. 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.