

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина

ИНТЕНСИВНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Введение. Несмотря на то, что металлические конструкционные материалы прошли многолетние испытания с одновременным совершенствованием и развитием, резервы придания им новых свойств далеко не исчерпаны.

Прирост прочностных и эксплуатационных свойств конструкционных материалов за последние десятилетия был обусловлен, в основном разработкой сталей и сплавов с новым химическим и фазовым составом. В последние годы наметились новые пути формирования микро и нанокристаллической структуры, которая приводит к изменению физических и механических свойств.

Одним из способов формирования микро и субмикроструктурной структуры, приводящей к изменению физических и механических свойств, является интенсивная пластическая деформация – пример кручение под высоким гидростатическим давлением; знакопеременный изгиб, периодическая прокатка; равноканальное угловое прессование. Недостатком перечисленных способов получения наноструктур является невозможность получения крупных образцов-изделий с существенно повышенными служебными характеристиками, (коррозионной стойкостью, радиационным распуханием, циклической прочностью и др.).

Таким образом, на сегодняшний день приоритетной задачей в деле повышения качества труб является создание новых технологий, деформационных схем и оборудования для их осуществления на основе идей интенсивной пластической деформации.

Постановка задачи. С точки зрения дислокационно-структурного анализа деформаций и разрушения, прочность может быть повышена при минимальной вероятности разрушения за счет создания структуры, обеспечивающей оптимальную однородность и интенсивность поглощения кристаллической решеткой энергии деформации, а также за счет создания условий деформирования, при которых были бы задействованы максимум плоскостей скольжения, т.е. иметь разнонаправленную схему формоизменения с возможным исключением накопления в отдельных микрообъемах критической плотности дислокаций – 10^{14} .

При механическом воздействии в процессе формоизменения имеет место неоднородное поглощение энергии по объему деформированного металла – в локальных объемах с предельно искаженной кристаллической решеткой возникают нарушения сплошности, которые могут привести к разрушению. Во избежание этого неравномерность деформации должна быть минимальной при минимальной разнотекучности металла.

Результаты дислокационно-структурного анализа, а также результаты исследований изменения свойств и структуры металла в зависимости от технологических и конструктивных параметров процесса периодической прокатки дали возможность разработать физические и технологические требования для создания новых процессов формоизменения, обладающих высокой деформационной способностью, значительно превышающих ее в сравнении с применяемыми в настоящее время процессами формоизменения (прокатки).

В результате разработаны и практически опробованы в промышленных условиях следующие процессы [1]:

1. Периодическая прокатка труб с одновременным формоизменением по диаметру и стенке в двух последовательно расположенных мгновенных очагах деформации (рис. 1) при больших удельных давлениях с одновременным наложением деформации подпора и знакопеременного кручения между ними.

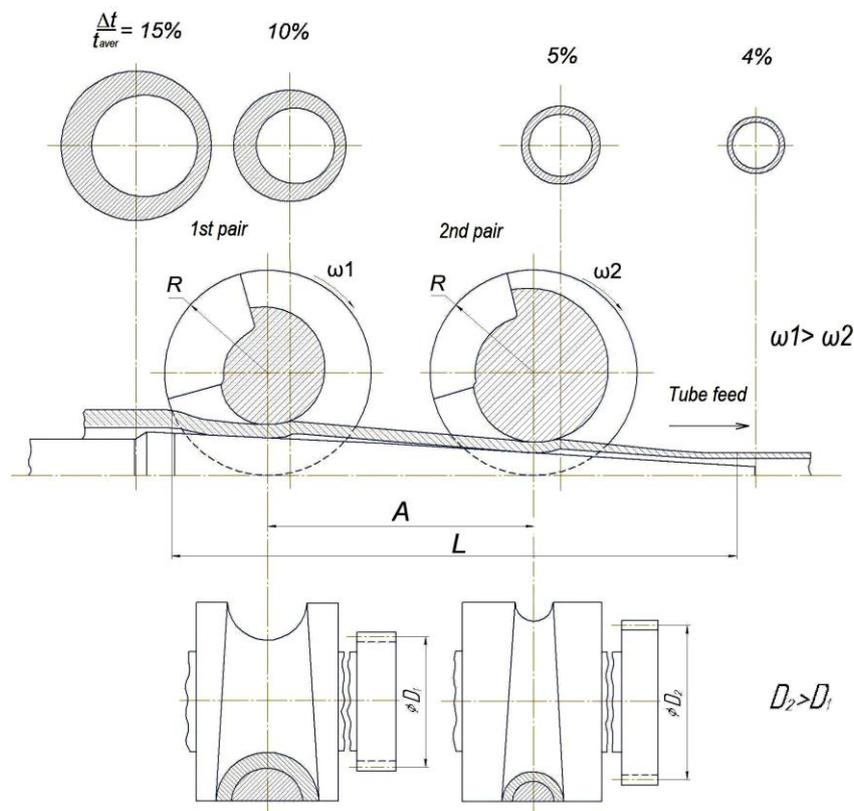


Рисунок 1 – Схема двухрядной периодической прокатки труб

Такой процесс разработан в двух вариантах:

а) для станов холодной прокатки на неподвижной оправке с подвижной клетью, совершающей возвратно-поступательное движение;

б) для станов с неподвижной рабочей клетью, т.е. пильгерстанов при деформации на короткой конической, либо длинной цилиндрической оправке.

Деформационная способность такого процесса в 2–4 раза выше известных в настоящее время при меньшем модуле упрочнения металла. Получаемые стабильно в один проход коэффициенты вытяжки при прокатке в холодном состоянии составляют $\mu = 6 - 19$, практически для всех известных сталей и сплавов, в том числе сплавов титана и циркония. Указанные коэффициенты вытяжки $\mu = 6 - 19$ при холодной двухрядной периодической прокатке соответствуют таким же значениям в известном процессе горячей пильгерной прокатки и превышают достигнутые в мировой практике более чем в 2–3 раза.

2. Периодическая холодная прокатка в двух мгновенных очагах на подвижной длинной оправке в стане с подвижной клетью, позволяющая получить коэффициенты вытяжки $\mu = 10 - 12$ даже при прокатке труб с микронными толщинами стенки, что превышает значения в сравнении с обычным процессом прокатки на неподвижной оправке в 5–6 раз.

3. Валково-роликовый способ периодической прокатки, объединяющий достоинства валковой и роликовой прокатки, позволяющий получить коэффициенты вытяжки $\mu = 10-12$ в одном проходе. Так, например, стала возможной прокатка на стане ХПТР 15–30 по маршруту $21,5 \times 0,5 \rightarrow 20,0 \times 0,05$ мм.

4. Способ периодической прокатки + волочение, позволяющий получить большие вытяжки 8–12 и трубы с микронными стенками. Таким способом получены трубы размером $63 \times 0,03$ мм, при $D/S = 2100$.

5. Способ периодической прокатки с растяжением в очаге деформации в двух вариантах:

– прокатка с углом захвата, превышающим угол трения $\alpha_3 \geq \varphi$;

– прокатка в несимметричном очаге деформации – за счет рассогласования окружных скоростей валков (диаметров).

Такой способ прокатки в сочетании с прокаткой в двух мгновенных очагах деформации позволяет получить за один проход коэффициенты вытяжки $\mu = 10-12$ в холодном состоянии.

Разработанные способы холодной прокатки дали возможность при прокатке нержавеющей стали (X18H10T) получить суммарный коэффициент вытяжки за несколько проходов без единой термообработки в пределах $\mu_{\Sigma} = 1200-1250$, что соответствует степени деформации 99,9 % при которой, как показали результаты исследования института металлофизики Уральского отделения Академии наук России, металл переходит практически в аморфное состояние. В качестве примера – из заготовки 89×9 мм были получены трубы $5,5 \times 0,1$ мм без термообработки.

Новые способы деформации дали возможность разработать новые и совершенствовать действующие технологии производства труб практически вдвое сократив цикличность их производства, снизив на 30–40 % трудо- и энергозатраты, а также расходный коэффициент металла. Большие степени деформации, полученные при прокатке толстостенных труб, превышающие мировой уровень более чем в 2 раза дали возможность впервые в мировой практике: получить равномерную мелкозернистую структуру металла (разнозернистость не превышает 1–2 балла) и при этом получить [2, 3]:

1. Котельные трубы большой длины, более 30–40 метров с возможной сверткой в бухты и увеличением эксплуатационной способности (длительной прочности), что увеличивает надежность и ресурс энергетических установок.

2. Подшипниковые трубы, в том числе малого диаметра $\varnothing = 28-32$ мм с равномерной мелкозернистой структурой, повышающей контактную прочность металла, а следовательно работоспособность и ресурс работы подшипников качения, применяемых практически во всех машинах и агрегатах.

Следует отметить, что при необходимости с использованием разработанных способов можно получить также и прутки.

Приведенные выше способы прокатки со сверхбольшими деформациями разработаны фирмой «Трубное производство, прогрессивные технологии», занимающейся также созданием нового (совместно с ОАО «СНПО» им.Фрунзе производящего станы холодной прокатки труб) стана ХПТ с применением двухрядной схемы прокатки в клетях «тандем» (рис. 2), а также модернизацией действующего оборудования – станов ХПТ и ХПТР с увеличением их производительности и снижением цикличности производства более чем в 2 раза.

Совместно с Национальной металлургической академией Украины ведутся исследования по дальнейшему развитию деформационных схем и их влияния на физико-механические и служебные свойства труб.

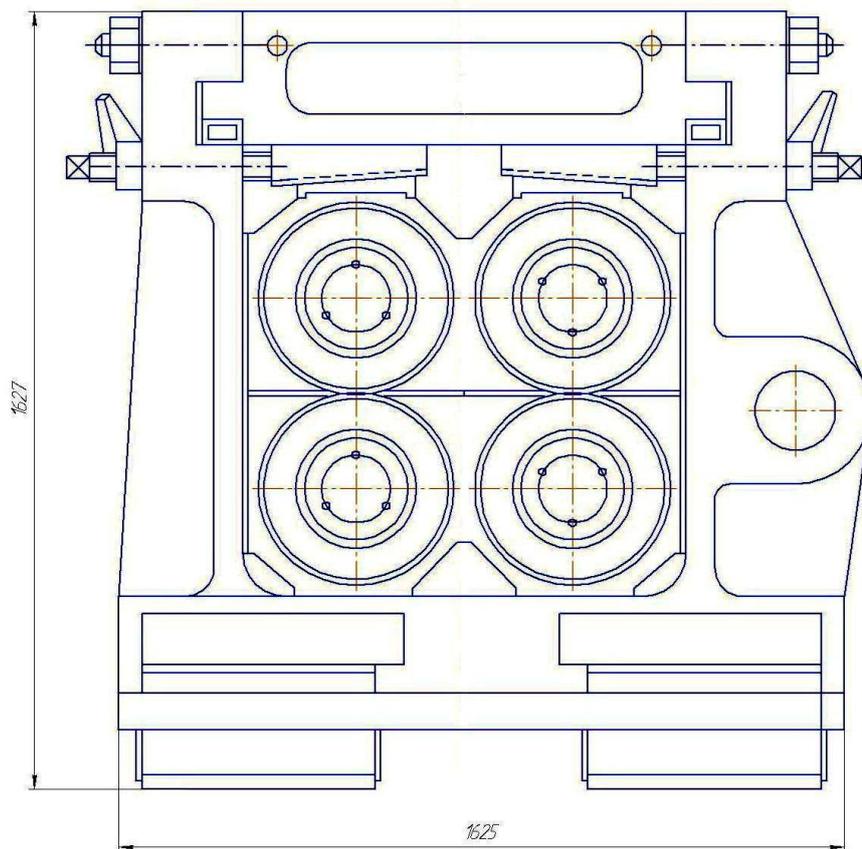


Рисунок 2 – Стан ХПТ с применением двухрядной схемы прокатки в клети «тандем»

Одна из таких схем основана на установленном научном открытии [4]. Смысл которого заключается в снижении сопротивления пластической деформации металла на 10–50 % при вибрационно-деформирующем воздействии на него с частотой соответствующей чистоте периодических элементарных сдвигов конкретного металла.

Следует отметить, что разработанный механизм формирования точности труб в процессе их изготовления дал возможность разработать методику расчета инструмента, позволяющего при периодической двухрядной прокатке (в двух мгновенных очагах) уменьшать относительную поперечную разностенность в 6–8 раз, а продольную разнотолщинность в 10–12 раз, что позволяет использовать для производства прецизионных труб заготовку с большой (до 50 %) разностенностью.

Достигнутая точность холоднокатаных труб (по стенке $\pm 0,5 \div 0,7 \%$, по диаметру $\pm 0,04 - 0,05$ мм) в несколько раз превышает все известные международные стандарты. С использованием способа периодической двухрядной прокатки изготовлено на новых и модернизированных станах более 80 миллионов метров труб практически из всех известных сталей, сплавов титана и циркония, а также опытные партии труб-ТВЕЛов для атомной энергетики с сокращением цикличности в два раза (вместо 8 проходов – четыре, с сокращением более 120 операций).

Предложенная новая технология экспериментально подтвержденная и успешно применяемая, смысл которой заключается в следующем: все холоднокатаные трубы диаметром $\varnothing = 14$ мм и более из любых марок сталей и сплавов, цветных металлов, а также сплавов титана и циркония производятся в два прохода вместо 3–5 по принятой ране технологии.

Пример:

- 1) $89 \times 10 \div 12-34 \div 38 \times 4$ ХПТ 90 (75)4В;
- 2) $34 \div 38 \times 4 \rightarrow 30-14 \times 1,5 \div 2,5$ мм ХПТ 324В.

Производительность модернизированных станков возрастает в 2–2,2 раза при повышении точности труб в 2–3 раза и сокращении цикличности производства, где ХПТ-4В – модернизированный стан ХПТ за счет замены клетей 2-х валковой на 4-х валковую «тандем».

К большим достоинствам способа периодической прокатки в двух мгновенных очагах деформации следует отнести его возможности применения на действующих станках ХПТ и ХПТР за счет их модернизации, заключающейся в замене 2-х валковой клетки на 4-х валковую с новыми шатунами. При этом производительность возрастает в 2–2,5 раза при сокращении вдвое цикличности производства с уменьшением трудо- и энергозатрат на 25–35 % с повышением точности труб в 2–3 раза.

Выводы. В статье представлены результаты структурного анализа, а также результаты исследований изменения свойств металла труб в зависимости от технологических и конструктивных параметров процесса двухрядной периодической прокатки позволили разработать физические и технологические требования для создания новых процессов формоизменения, обладающих более высокой деформационной способностью, меньшей цикличностью производства, повышенным уровнем эксплуатационных свойств.

Рассмотрены преимущества технологии с применением труб из стали 08Х18Н10Т, сплавов титана и циркония.

1. Двухрядная периодическая прокатка обладает деформационной способностью в 2–4 раза выше однорядной, что позволяет получать коэффициенты вытяжки в холодном состоянии за один проход $\mu = 6-19$.

2. Большие степени деформации, реализация механизма простого сдвига в межклетьевом промежутке позволяют получать равномерную мелкозернистую структуру металла.

3. Прокатка в двух мгновенных очагах деформации позволяет сравнивать относительную поперечную разностенность 6–8 раз, а продольную разностенность в 10–12 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов М. В., Атанасов С. В., Беликов Ю. М. Совершенствование процесса периодической прокатки труб. – Днепропетровск : ООО независимая издательская организация «Дива», 2008. – С. 192.
2. Попов М. В., Обух-Швец И. М., Юрченко Ю. Ф. Технологическая пластичность и свойства металла холоднодеформированных труб. – Москва : Металлургия, 1992.
3. Попов М. В., Атанасов С. В., Вахрушева В. С., Вольфович Г. В. К механизму повышения технологической пластичности при двухрядной прокатке // Известия ВУЗов, 4М. – № 7. – 1990. – С. 34–37.
4. Балакин В. Ф., Морозенко В. Н., Дидык Р. П., Кузнецов Е. В. Научное открытие «Закономерность пластического поведения вязко-упругих и вязко-пластических сред в условиях их развитой вибропластической деформации». – № 185 от 27.11.2001г.