



УДК 621.744.35

Вышинский В. Т.
НМетАУРахманов С. Р.
ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС»

К вопросу реализации вибрационной холодной пильгерной прокатки труб

Проведен анализ динамической модели очага деформации процесса холодной пильгерной прокатки труб. Приведено обоснование и предложена схема вибрационной холодной пильгерной прокатки труб на стане ХПТ. Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: труба, очаг деформации, холодная прокатка труб, оправка, динамическая модель, пластическая волна, упругая волна, фронт волны, радиальное перемещение, вибрация, амплитуда, частота, высокочастотный вибратор

The dynamic model of the center of deformation in the course of cold rolling of pipes was developed. Justification is given and the scheme of vibration cold periodic rolling of pipes is offered.

Keywords: pipe, deformation center, cold rolling of pipes, mandrel, dynamic model, plastic wave, elastic wave, wave front, radial movement, vibration, amplitude, frequency, high-frequency vibrator

Проблемы повышения эффективности процесса холодной пильгерной прокатки труб выдвигают ряд актуальных задач как по совершенствованию технологии, так и элементов основного технологического оборудования [1-3].

Установление некоторых скрытых возможностей существующих технологий вибрационной прокатки требует создания корректных математических моделей, адекватно отражающих особенности данного процесса на станах ХПТ.

В основу разработки ряда динамических моделей и создания механизмов для вибрационного нагружения металла положены некоторые фундаментальные разработки В. М. Клименко, В. Н. Шаповала, В. Н. Потураева, М. Г. Цейтлина и других авторов. Анализ этих разработок обобщен и наиболее полно представлен в работе [4].

Большинством исследователей подтверждается тот факт, что применение высокочастотных вибраций при обработке металлов давлением (ОМД) приводит к уменьшению предела текучести материала и, как следствие, к значительному снижению энергосиловых параметров очага деформации. При этом важную роль играет фактор формирования рациональной объемной деформации металла и уменьшения внешних контактных и внутренних сил трения.

Первые опытно-промышленные установки для активизации процессов ОМД с использованием высокочастотных ультразвуковых колебаний были построены фирмами «Uniform Tubes» и «Aero projects» (США) в начале 60-х годов XX столетия. Затем на заводе фирмы «Aero projects» для производства бесшовных труб был

создан пресс с подводом высокочастотных ультразвуковых колебаний непосредственно к матрице. Применение ультразвуковых колебаний позволило увеличить степень единичного обжатия и повысить скорость деформации заготовки, уменьшить число операций отжига и травления, а также количество отходов.

Данные вопросы свое дальнейшее решение нашли при производстве бесшовных труб на заводе фирмы «Stainless Tube Division» (США), где деформируют трубную заготовку из коррозионно-стойкой стали на профильных прессах подводом высокочастотных ультразвуковых колебаний непосредственно к технологическим инструментам [5, 6].

Промышленная технология производства бесшовных труб на профильных прессах из предварительно просверленных заготовок с использованием энергии ультразвуковых колебаний освоена также фирмами «Levy» и «Kolambia Jammeril» (Англия) [5].

Аналогичный трубопрофильный пресс для производства бесшовных труб с подводом ультразвуковых колебаний непосредственно к игле, через стержень, работает в фирме «Кобэ» (Япония) [6].

На трубопрокатных заводах Украины и России в настоящее время в основном работают станы ХПТ как конструкции «ЭЗТМ» (Россия), так и зарубежного производства («SMS MEER», Германия), оснащенные современными механизмами. Однако, по ряду необоснованных причин, они не снабжены устройствами для реализации технологий вибрационного воздействия на обрабатываемое изделие.

Исследованиями динамических процессов при обработке металлов давлением установлена зависимость условий деформирования от параметров активных вибраций. Для достижения установившегося вибрационного режима деформирования заготовки необходимо определение зависимости между частотой, амплитудой и энергосиловыми параметрами технологического процесса. Амплитудно-частотная характеристика базовых технологических инструментов (оправки и валков) оказывая существенное влияние на эффективность процесса холодной пильгерной прокатки труб, должна формировать необходимые и достаточные условия для реализации активизации вибрационного деформирования обрабатываемого изделия.

Для установления скрытых резервов существующих, разработки новых технологических процессов холодной пильгерной прокатки труб с применением высокочастотных вибраций и их динамической модели, адекватно отражающей условия формирования гильзы (трубной заготовки), воспользуемся базовой схемой холодной периодической пильгерной прокатки труб (рис. 1), отличительной особенностью которой является оправка, обладающая способностью генерировать активные высокочастотные вибрации. Она представляет собой абсолютно твердое осесимметричное тело с некоторым заданным сужением по образующей, которая взаимодействует с однородной полубесконечной средой (деформируемым материалом), занимающей некоторое полупространство очага деформации, нормально к его свободной поверх-

ности. Возмущенное движение прокатываемого металла (сплошной среды), вызванное технологическими инструментами (оправкой и валками) в процессе холодной прокатки труб, во всех сечениях очага деформации (по всей длине конуса прокатки) считаем осесимметричным (рис. 2).

Решение указанной задачи о движении сплошной среды (металла) в математическом плане, основанное на использовании достаточно строгих нелинейных дифференциальных уравнений, в силу имеющих место больших деформаций, в настоящее время является затруднительным. На данной стадии исследования технологического процесса наиболее приемлемы приближенные методы, обладающие определенной погрешностью, тем не менее охватывают физическую суть явлений, происходящих в процессе трансформации трубной заготовки в готовое изделие.

Данный подход состоит в следующем: считается, что каждый слой металла трубной заготовки, в некоторой условно фиксированной плоскости $x = const$, движется независимо от других слоев, причем движение начинается с того момента, когда поверхность оправки расположена в данной плоскости. При этом, исходная постановка технологического процесса в замкнутом пространстве очага деформации сводится к задаче о движении цилиндрической волны (каверны) в сплошной среде (в трубной заготовке).

Такая принятая динамическая модель представляет собой задачу о распространении одномерных радиальных волн в слое, перпендику-

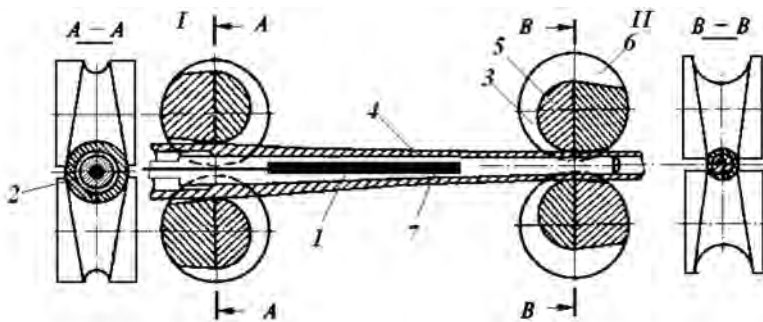


Рис. 1. Схема холодной пильгерной прокатки труб (I - переднее и II - заднее положение рабочей клетки):

- 1 - коническая оправка; 2 - кольцевой зазор;
- 3 - ручей калибров; 4 - прокатываемая труба; 5 - калибр; 6 - рабочие валки;
- 7 - высокочастотный вибратор

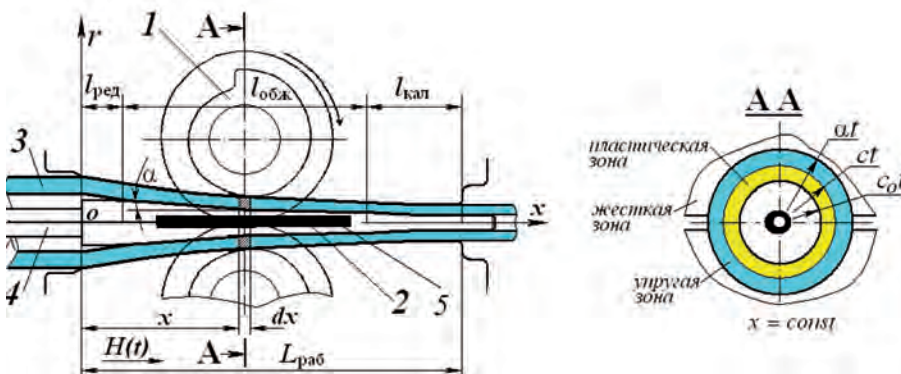


Рис. 2. Расчетная схема динамических процессов в очаге деформации при холодной прокатке на стане ХПТ:

- 1 - валки рабочие; 2 - оправка;
- 3 - трубная заготовка;
- 4 - стержень оправки;
- 5 - высокочастотный вибратор

лярном направлении движения металла в процессе прокатки трубы. Таким образом, можно считать, что предлагаемый подход базируется на методе плоских сечений и представляет развитие теоретических положений процессов периодической прокатки трубы технологическими инструментами.

Анализ напряженно-деформированного состояния металла показывает, что при существующих темпах прокатки в цилиндрической гильзе (заготовке), кроме зоны упругого состояния, преимущественно, возникает зона пластического состояния, а в некоторых случаях и зона разрушения металла. Поэтому, первоначально рассмотрены отдельно указанные зоны и даны в принятом приближении решения динамических задач для каждой из них.

Результаты ряда экспериментальных исследований [3-6] указывают на необходимость поэтапного исследования деформированного состояния прокатываемого металла в стесненном очаге деформации и активное управление напряженно-деформированным состоянием в процессе реализации технологических операций холодной пильгерной прокатки труб.

В работе [7] предлагается следующая возможная схема постановки и решения задачи в теоретическом плане. Сначала рассматривается задача в предположении, что возмущенная область очага деформации в процессе холодной прокатки трубы, что состоит из пластической зоны и раздробленной зоны. При этом, сначала решается уравнение для определения относительной скорости волны пластичности (параметра распространения волны), а затем восстанавливаются истинные поля напряжений и скоростей. После проверяется выполнение необходимого и достаточного условия формирования напряжений $\sigma_\theta > -\sigma_0$ во всей возмущенной области очага деформации. Если это условие выполняется, то указанным решением задачи ограничиваются.

Далее, задавшись определенными начальными и граничными условиями реализации активных вынужденных высокочастотных гармонических колебаний заданной частоты ω со стороны технологических инструментов (вибратором внутри оправки) в виде $f(r) = R(t)\sin(\omega t)$ и $F(r) = R'(t)\omega\cos(\omega t)$, путем математического моделирования, определяются эффективные параметры вибрационной прокатки гильзы на этапе проектирования и назначения режимов технологического процесса ХПТ.

Необходимо подчеркнуть, что поскольку процессы деформирования заготовки в рамках выбранной динамической модели очага деформации в поперечном направлении относительно оси оправки представляют волновые процессы,

то путем приложения активных внешних управляющих воздействий можно активизировать технологический процесс. Например, прикладывая высокочастотные колебания определенной частоты $\omega = 0,5 - 15 \text{ кГц}$ со стороны оправки можно добиться повышения эффективности процесса холодной прокатки труб без образования зон разрушений в металле.

На рис. 3 представлена конструкция оправки стана ХПТ, конструктивно реализующая решение предлагаемой задачи.

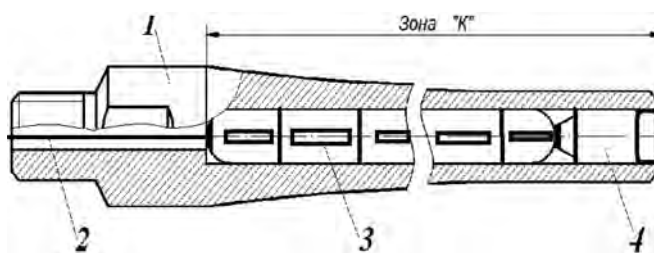


Рис. 3. Оправка стана ХПТ 75 с встроенным высокочастотным вибратором:

1 - оправка; 2 - гибкий вал; 3 - вибратор высокочастотный; 4 - пробка

Необходимо отметить, что поскольку вибровозбудитель 3 непосредственно встроен в оправку 1 и находится в рабочем конусе, то в процессе холодной прокатки трубы, кроме всего прочего, для защиты от тепловых воздействий его необходимо принудительно и интенсивно охлаждать. Эта часть задачи может быть решена с помощью существующей современной системы технологической смазки.

Стабилизацией параметров объемного напряженно-деформированного состояния металла при интенсивной холодной прокатке труб, например, гильзы из нержавеющей стали 10Х17Н13М2Т диаметром 89,0×5,0 мм → на трубу 63×3,5 на стане ХПТ 75 можно достичь снижения усилия прокатки на 28 % (исходная сила прокатки 570 кН). Диаметр вибрирующего элемента составляет 30 мм. Величина рабочей частоты вибратора регулируется в пределах от 7000 Гц до 12000 Гц. При этом длина вибрирующего элемента, расположенного в соответствующей зоне рабочего конуса оправки «К» и очага деформации, достигает 380 мм. Рабочее напряжение системы генерации высокочастотных вибраций, при соответствующей частоте тока 400 Гц, составляет 42 В.

Реализация требуемых режимов вибрационной прокатки труб осуществляется непосредственно из пульта управления станом ХПТ.

В результате, за счет снижения значительных сил контактного трения, получим значительное повышение стойкости оправок (в три раза) и валков (в два раза). Снижением энергосиловых

параметров (осевой составляющей усилия прокатки) достигается устойчивость функционирования стержня оправки и изменяется деформация базовых элементов рабочей клетки. Это приводит к существенному снижению как поперечной, так и продольной разностенности и повышению качества выпускаемых труб.

Выводы

При воздействии активных управляющих высокочастотных колебаний может быть достигнуто значительное уменьшение пределов упругости и текучести прокатываемого металла, что обеспечивает снижение усилия прокатки и приводит к повышению эффективности процесса. Требуемые рациональные амплитудно-частотные характеристики вынужденных колебаний технологических инструментов (требуемая виброактивность вибратора внутри оправки), обеспечивающие стабилизацию энергосиловых параметров очага деформации, могут быть определены математическим моделированием. Необходимо особо подчеркнуть тот факт, что с применением высокочастотных активных вибаций, кроме всего прочего, значительно возрастает скорость расширения границы пластической зоны.

Методика исследования технологического процесса холодной прокатки гильз из различных марок сталей и их сплавов по предложенной схеме заметно расширяет возможности оптимизации напряженно-деформированного состояния очага деформации при холодной

пильгерной прокатке труб в условиях применения высокочастотных вибаций.

Библиографический список

1. Гриншпун М. И., Соколовский В. И. Станы холодной прокатки труб. – М.: Машиностроение, 1967. – 239 с.
2. Попов М. В., Атанасов С. В., Беликов Ю. М. Совершенствование процесса периодической прокатки труб. – Днепропетровск: ООО Независимая издательская организация «Дива», 2008. – 192 с.
3. Фролов В. Ф., Данченко В. Н., Фролов Я. В. Холодная пильгерная прокатка труб. Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2005. – 255 с.
4. Коликов А. П., Полухин П. И., Крупин А. В. и др. Новые процессы деформации металлов и сплавов. – М.: Высшая школа, 1986. – 351 с.
5. Данченко В. Н., Коликов А. П., Романцев Б. А., Самусев С. В. Технология трубного производства. Учебник для вузов. – М.: Интермет-Инжиниринг, 2002. – 640 с.
6. Клименко В. М., Шаповал В. Н. Вибрационная обработка давлением. – Киев: Техника, 1977. – 128 с.
7. Рахманов С. Р. Динамические особенности очага деформации в процессе холодной пильгерной прокатки труб / С. Р. Рахманов, В. Т. Вышинский // Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Вінниця. – 2014. – Вип. 2 (74). – С. 78-88.

Поступила 19.05.2015

