

4. А.с. № 1148660 СССР, МКИ В 21 В 21/00. Рабочая клетка стана холодной прокатки труб / А.С.Ткаченко, С.М. Крышин, В.Ф. Орещенко, Л.А. Сафонов, Ю.Л. Лукашук, В.Т. Вышинский и А.В. Цупкин (СССР) - №367475/22-02. Заявл. 20.12.83, опубл. 07.04.85, Бюл. № 13.

5. Разработка новой конструкции нажимного

устройства рабочей клетки стана ХПТ с целью повышения качества катаных труб / Ю.Л. Калашников, С.М. Крышин, В.Ф. Орещенко и др. // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 1995. - № 1. - С. 61–63.

Поступила 29.07.2013

УДК 621. 774.36

Кузнецов Д.Е.

ГП «НИТИ»

Наука

Анализ методов расчета ширины калибров станов ХПТ

Рассмотрены основные подходы к выбору калибровок станов холодной прокатки труб. На основании выполненного анализа и экспериментов, проведенных на промышленных станах, даны рекомендации по выбору ширины калибров станов ХПТ при производстве холоднокатаных труб из специальных сталей и сплавов, предназначенных для эксплуатации на ответственных энергетических объектах. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: трубы, холодная прокатка, качество, точность размеров, калибровка валков

The basic approaches to the selection of calibrations of cold-rolling tube. On the basis of the analysis and experiments conducted on industrial mills, advice on selecting the width of the gauge HPT mills in the production of cold-rolled tubes of special steels and alloys for use in responsible energy facilities.

Keywords: pipe, cold rolled, quality, dimensional accuracy, calibration rolls

Расчет ширины калибров станов холодной прокатки труб (ХПТ) представляет собой сложную задачу, несмотря на то, что известно большое количество формул, предназначенных для этой цели. Проблема состоит в том, что ширина (развал) калибров влияет на многие параметры процесса прокатки, например на равномерность обжатия по периметру трубы и сопутствующие этому явления, точность по диаметру и разностенность. При производстве холоднокатаных труб из специальных сталей и сплавов, отличающихся сравнительно низкой пластичностью, и повышенными требованиями к качеству, чрезмерный развал калибров может приводить к трещинообразованию и ухудшению микрорельефа внутренней поверхности труб [1].

Анализ известных формул для расчета ширины калибров станов ХПТ, выполненный в работе [2], показал, что известные решения не в полной мере отвечают современным требованиям. Во-первых, большинство из известных формул включают в себя эмпирические коэффициенты, которые применимы для исключительно конкретных условий. Во-вторых, технология холодной прокатки труб шагнула далеко вперед по сравнению с тем состоянием, когда известные [3] решения были предложены. В-третьих, непрерывно разрабатываются новые стали и сплавы специального назначения, производство холоднокатаных труб из которых отличается существенной спецификой.

В расчетах ширины калибров станов ХПТ обычно исходят из выдвинутого П.Т. Емельяненко положения, согласно которому ширина ручья в каком-либо сечении профиля калибра равна диаметру ручья в сечении, отстоящем от первого от расстояния, соответ-

ствующему объему подачи металла, произведенной перед рабочим ходом клетки. При этом наибольшее распространение на практике получила построенная на этом принципе формула Я.Е. Осады [2-5]

$$B_x = D_x + 2 \frac{\sqrt{t_x + 2V_y (tg\gamma_x - tg\alpha_x)} - t_x}{tg\gamma_x - tg\alpha_x} \cdot tg\gamma_x, \quad (1)$$

где B_x , D_x , t_x - ширина калибра, диаметр и толщина стенки трубы в контрольном сечении; V_y - объем подачи; γ_x и α_x - углы конусности ручья калибра и оправки. Индекс «x» обозначает координату рассматриваемого сечения рабочего конуса.

Выполненные экспериментальные исследования показали [1], что с позиций обеспечения высокого качества внутренней поверхности труб, наибольшего внимания заслуживает участок рабочего конуса, где заканчивается обжатие стенки трубы и калибрующий участок. Именно на этих участках зарождаются микротрещины в прокатываемом металле, а также нередко ухудшается микрорельеф внутренней поверхности труб. Именно поэтому ширина калибра на этих участках должна быть, с одной стороны, минимальной. Но, с другой стороны, исключить опасность «закусывания» металла калибрами [5, с. 207].

Практика показала, что при прокатке труб из специальных сталей и сплавов нередко эффективным оказывается применение оправок с криволинейной образующей. В этих случаях на предкалибровочном и калибровочном участках угол наклона образующей оправки по отношению к оси прокатки близок к нулю. Т.е., $tg\alpha \rightarrow 0$. При таком условии выражение (1) принимает вид

$$B_x = D_x + 2(\sqrt{t_x^2 + 2V_Y \cdot \text{tg} \gamma_X - t_x}). \quad (2)$$

Учитывая, что $\text{tg} \gamma$ на этих участках рабочего конуса по величине также близок к нулю, представим формулу (2) в виде ряда Маклорена. Оставляя три члена ряда, получим

$$B_x = D_x + \frac{2V_Y}{t_x} \cdot \text{tg} \gamma_X - \frac{2}{t_x} \left(\frac{V_Y}{t_x} \cdot \text{tg} \gamma_X \right)^2.$$

Третий член в правой части этого выражения существенно меньше первых двух, поскольку $\text{tg}^2 \gamma$ при малых углах γ стремится к нулю. Тогда в первом приближении запишем

$$B_x = D_x + \frac{2V_Y}{t_x} \cdot \text{tg} \gamma_X. \quad (3)$$

Удельный объем подачи V_Y определяется [5, с. 206]

формулой $V_Y = \frac{R_3 + r_3}{R_x + r_x} \cdot m \cdot t_3$, где R_3 и r_3 - наружный и внутренний радиусы заготовки; R_x и r_x - соответственно те же радиусы рабочего конуса в рассматриваемом сечении; t_3 - толщина стенки заготовки; m - величина подачи. Подставив значение V_Y в (3), окончательно получим удобную для анализа формулу

$$B_x = D_x + 2m \frac{R_3 + r_3}{R_x + r_x} \cdot \frac{t_3}{t_x} \cdot \text{tg} \gamma_X. \quad (4)$$

Широко распространенным в производственной практике является также другой случай, когда в предкалибрующем и калибрующем участках рабочего конуса наклоны образующей калибров и оправки примерно равны: $\text{tg} \gamma \approx \text{tg} \alpha$. При этом $\alpha \neq 0$. Т.е., на этих участках стенка трубы почти не обжимается, но диаметр трубы уменьшается. Подставляя это условие в формулу (1), получаем неопределенность типа $\frac{0}{0}$. Раскрывая ее по правилу Лопитала, получаем ту же формулу (3): $B_x = D_x + 2V_Y t_x^{-1} \cdot \text{tg} \gamma_X$. Приводя выражение (4) к безразмерному виду, запишем

$$\frac{B_x}{D_x} = 1 + \frac{m}{R_x} \cdot \frac{R_3 + r_3}{R_x + r_x} \cdot \frac{t_3}{t_x} \cdot \text{tg} \gamma_X;$$

$$\frac{B_x}{D_x} = 1 + \frac{m}{r_x + t_x} \cdot \frac{(2r_3 + t_3)t_3}{(2r_x + t_x)t_x} \cdot \text{tg} \gamma; \quad (5)$$

$$\frac{B_x}{D_x} = 1 + m \cdot \frac{2R_3 t_3 - t_3^2}{2R_x^2 t_x - R_x t_x^2} \cdot \text{tg} \gamma.$$

Анализ этих зависимостей позволяет сделать следующие выводы.

Прежде всего, вполне логичным и бесспорным является вывод о том, что относительная величина развала калибров B_x/D_x должна возрастать по мере увеличения подачи m и угла конусности калибров γ_X .

Поскольку произведение $(R^3 + r^3) t^3$ для конкретного сортамента труб есть величина постоянная, то при прочих равных других условиях отношение B_x/D_x находится в обратной зависимости от величин R_x и t_x . Т.е., чем больше R_x и t_x отличаются от R_3 и t_3 , тем относительная величина развала калибров в сечении «хх» должна быть большей. Иначе говоря, чем сильнее обжатие

трубы по диаметру и толщине стенки, тем развал калибров на названных выше участках рабочего конуса должен быть большим независимо от подачи при прокатке и конусности ручья калибров. Причем влияние величины обжатия трубы по диаметру превалирует.

На нынешнем этапе развития промышленности наиболее остро проблема обеспечения высокого качества трубопрокатной продукции, в том числе и точности размеров труб, стоит при производстве холоднокатаных труб из специальных сталей и сплавов, применяемых в энергетических установках. В развитие идей и технологических решений, рассмотренных, в частности в работе [6], было изучено влияние калибровок станом ХТП и непосредственно изложенных выше подходов к расчету ширины калибров на точность размеров труб названного назначения. В дополнение к материалам исследований, ранее опубликованных в нашей статье [1], установлено следующее.

Повсеместно принятое мнение о том, что образованию дефектов внутренней поверхности труб способствует повышение степени безобразочной деформации (редуцирования) заготовки при холодной прокатке, применительно к производству труб из специальных сталей и сплавов не является бесспорным. В этой связи, а также с учетом необходимости обеспечения высокой точности размеров труб совсем не обязательным является при расчете калибров валков станом ХТП соблюдение постоянства соотношения обжатия по диаметру к обжатию толщины стенки трубы в очаге деформации. Однако крайне необходимо учитывать приведенные выше зависимости и сделанные на основе их анализа выводы относительно принципов выбора величины развала калибров.

Библиографический список

1. Кузнецов Д.Е. Повышение точности размеров и качества поверхности холоднокатаных труб // Сталь. – 2005. - № 10. - С. 81-85.
2. Фролов Я.В., Дехтярев В.С. Развитие методов расчета калибровки станом ХТП // Металлур. и горноруд. пром-сть. – 2009. - № 2. - С. 52-54.
3. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб. – Днепропетровск: Пороги, 2005. - 256 с.
4. Орро П.И., Осада Я.Е. Производство стальных тонкостенных бесшовных труб. – М.: Металлургиздат, 1951. - 416 с.
5. Кофф З.А., Соловейчик П.М., Алешин В.В., Гриншпун М.И. Холодная прокатка труб. – Свердловск: Металлургиздат, 1962. - 431 с.
6. Кузнецов Е.Д. Развитие теории и практики производства прецизионных стальных труб / В сб. «Развитие теории процессов производства труб». Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – С. 232-259.

Поступила 25.06.2013