

УДК 621.774

**Фридман В. М.
Харитонов А. П.
Постный В. А.**

ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ ПИЛИГРИМОВОГО СТАНА ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА

Углеродное топливо было и остается одним из основных видов ресурсов, которые широко используются практически во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства и жилищно-коммунального комплекса страны. При этом условия добычи нефти и газа постоянно усложняются. Это относится к использованию более глубоких скважин (более 1000 м), необходимости новых разработок в условиях низких температур, в коррозионно-агрессивных средах, все более широкого использования морского шельфа и др. Поэтому и требования к трубам постоянно растут. Наиболее полно это отражается в международных стандартах ISO, разработанных на основе стандартов Американского нефтяного института API 5CT Spec. Соответствующие международным стандарт ISO 11960 и отечественный ДСТУ/ISO 11960 предусматривают современные требования к обсадным и насосно-компрессорным трубам, в т. ч. по точности размеров и отклонениям по массе. Эти показатели следующие:

- допускаемые отклонения по диаметру – 0,5 % + 1,5 %;
- отпускаемые отклонения по минимальной стенке – 12,5 %;
- допускаемые отклонения по максимальной стенке ограничиваются отклонениями по массе;
- отклонения по массе для каждой трубы + 6,5 %, –3,5 %.

Следует отметить, что расчеты эксплуатационных колонн основываются на этих показателях, т. е. учитывается минимально возможная толщина стенки и допустимый вес колонны [1–2].

Целью работы является разработка методики расчета настройки пилигримового стана для получения нужной величины средней толщины стенки при оптимизации процесса прокатки с точки зрения предельных отклонений по массе.

Основная масса обсадных труб, производимых в Украине, изготавливаются на пилигримовой установке 6–12" завода ОАО «Интерпайп НТЗ». Анализ полученных статистических данных по допустимой массе и точности размеров труб, прокатанных на этой установке, показал, что эти показатели могут достаточно полно быть обеспечены техническими возможностями действующего оборудования.

Анализ показал что зачастую, прокатка труб производится со значительным превышением номинала и, как следствие, к вероятности выпадов по показателю допустимой массы.

Важно подчеркнуть, что, к сожалению, масса труб, как правило, определяется на окончательной сдаче, т. е. когда труба прошла все технологические операции. Если при окончательной сдаче ее масса превышает допускаемые отклонения, предусмотренные нормативными документами, то она не может быть сдана потребителю. Для исключения затрат на изготовление труб с несоответствующей массой необходимо осуществлять контроль на этапе формирования толщины стенки при настройке пилигримового стана и периодическом контроле установившегося технологического процесса на этом стане.

Такой контроль следует осуществлять исходя из замеров средней толщины трубы, т. к. именно средняя толщина стенки, как известно, в значительной мере определяет массу трубы, а также может регулироваться непосредственно на пилигримовом стане при изменении расстояния между верхним и нижним валками.

Допускаемые значения средней толщины стенки могут быть определены при известном наружном диаметре трубы по формуле:

$$S_{cp} = \frac{D - \sqrt{D^2 - 4 \frac{q}{\kappa}}}{2}, \quad (1)$$

где S_{cp} – средняя толщина стенки трубы, мм;

D – наружный диаметр трубы, мм;

q – вес 1 погонного м трубы, кг/м;

κ – коэффициент ($\kappa = 0,02466148$).

Минимально допустимая величина средней толщины стенки ($S_{cp \min}^D$) определяется для уменьшенного на предусмотренное стандартом отрицательное отклонение веса погонного метра трубы номинальных размеров (диаметра и толщины стенки). Максимально допустимая величина средней толщины стенки ($S_{cp \max}^D$) определяется соответственно для увеличенного на предусмотренное стандартом положительное отклонение веса погонного метра трубы номинальных размеров.

Контроль по массе труб по средней толщине стенки для всех допустимых по стандарту величин наружного диаметра (D_{\min}, D_{\max}) может осуществляться по определенным по приведенной выше формуле значениям средней толщины стенки.

При этом минимально допустимое значение средней толщины соответствует значению, определенному для трубы с наружным диаметром D_{\min} ($S_{cp \min}^{D_{\min}}$), а максимально допустимое значение средней толщины стенки – для трубы с наружным диаметром D_{\max} ($S_{cp \max}^{D_{\max}}$).

Для указанных значений средней толщины стенки выполняется проверка по диаметру шаблона для контроля внутреннего диаметра:

$$D_{\min} - 2S_{cp \max}^{D_{\max}} \geq du,$$

где du – диаметр шаблона, мм.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты расчетов средней толщины стенки для контроля по массе обсадных труб по ГОСТ 632-80, исполнения А размером $219,1 \times 10,2$ мм и $219,1 \times 12,7$ мм.

Таблица 1

Результаты расчета средней толщины стенки обсадных труб для контроля массы (по ГОСТ 632-80, исполнения А)

№ п/п	Размер труб, мм		Минимально возможная толщина стенки, мм	Максимально возможная толщина стенки, мм	Минимально возможная толщина стенки, мм	Максимально возможная толщина стенки, мм	Средняя толщина стенки для контроля массы труб, мм	
	наружный диаметр	толщина стенки	при наружном диаметре $D_{\min} = 218,005$ мм		при наружном диаметре $D_{\max} = 221,29$ мм		минимальная	максимальная
1	2191	10,2	9,88	10,96	9,72	10,78	9,88	10,78
2	219,1	12,7	12,30	13,66	12,09	13,43	12,30	13,43

Как следует из табл. 1, средняя толщина стенки для контроля массы труб должна не превышать 10,78 мм и быть не менее 9,88 мм. Для этих значений средней толщины стенки внутренний диаметр труб будет выше диаметра шаблона.

Для труб размером $219,1 \times 10,2$ мм по стандарту $d_{uu} = 195,7$ мм:

$$D_{\min} - 2 \cdot S_{D_{\max}}^+ = 218,005 - 2 \cdot 10,78 = 196,445 \text{ мм.}$$

Для труб размером $219,1 \times 12,7$ мм по стандарту $d_{uu} = 190,7$ мм:

$$D_{\min} - 2 \cdot S_{D_{\max}}^+ = 218,005 - 2 \cdot 13,43 = 191,145 \text{ мм.}$$

Известно, что совместная вероятность двух событий: наличия определенной средней толщины стенки и определенного диаметра определяется на основе законов математической статистики, в частности суммарная дисперсия разброса массы погонного метра трубы определяется суммой дисперсий колебаний средней толщины стенки и диаметра трубы. Проведенные расчеты показали, что при заданных допустимых колебаниях средней толщины стенки и наружного диаметра могут быть расширены расчетные допуски колебаний массы трубы до $+ 6,58 \%$, $- 3,53 \%$, что позволяет считать возможным, расширить диапазон настроечных параметров толщины стенки, которые определены из формулы (1).

В настоящее время настройка стана производится на основе локальных замеров толщины стенки в 6–8 точках по концам трубы или на вырезанных барабанах. При этом основным настроечным параметром является обеспечение минимальной допустимой по стандарту толщины стенки. Соответствие допускаемых отклонений по массе труб при настройке и контроле технологии при этом не определяется. Расчет средней толщины стенки на основе определений локальных замеров и сравнение ее значений с расчетными по приведенной методике достаточно надежно обеспечит выполнение заданных требований по массе, тем более что определение средней толщины стенки является более надежным информативным показателем.

Как известно, толщина стенки формируется именно на пилигримовом стане и в последующем технологическом цикле меняется незначительно, однако некоторое утолщение стенки в процессе калибровки или редуцирования требует уточнения расчетов ее средних значений по формуле (при прокатке без натяжения), вытекающей из работы [1]:

$$S_{n_{cp}} = S_{k_{cp}} \sqrt{\frac{D_k}{D_n}}, \quad (2)$$

где $S_{n_{cp}}$ – средняя толщина стенки после пилигримового стана, мм;

$S_{k_{cp}}$ – средняя толщина стенки после редуциционного или калибровочного стана, которая определяется по приведенной выше методике по формуле (1), мм;

D_n и D_k – соответственно диаметры трубы после пилигримового и калибровочного станов, мм.

Таким образом, предлагается следующая методика настройки пилигримового стана при прокатке труб нефтяного сортамента:

- определение допустимых размеров трубы по средней стенке при диаметре максимальном и минимальном по формуле (1) и уточнение с учетом совместной вероятности колебаний средней толщины стенки и диаметра ($+ 6,58 \%$, $- 3,53 \%$);
- вычисление допустимых размеров по средней толщине стенки после пилигримового стана с учетом обжатия по диаметру в калибровочном (редуциционном) стане по формуле (2);
- производятся замеры локальной толщины стенки в 6–8 точках на настроечных барабанах или концах труб;
- на основании сравнения расчетных и фактически замеренных данных принимается решение о регулировке положения верхнего валка пилигримового стана.

Для получения средней толщины стенки готовой трубы в пределах, указанных в табл. 1, требуемая толщина стенки на пилигримовом стане определяется по формуле 2. При этом учитываются горячие размеры трубы после калибровочного (редуциционного) стана (определяются с учетом коэффициента термического расширения).

В табл. 2 приведены требуемые для контроля веса значения средней толщины стенки трубы после пилигримового стана.

Таблица 2

Результаты расчета требуемой средней толщины стенки обсадных труб (по ГОСТ 632-80, исполнения А) на пилигримовом стане для контроля массы

№ п/п	Размеры труб, мм		Диаметр трубы после пилигрим-стана (горячий размер), мм	Средняя толщина стенки трубы в холодном состоянии для контроля массы, мм		Средняя толщина стенки после пилигримового стана (горячий размер), мм	
	наружный диаметр	толщина стенки		минимальная	максимальная	минимальная	максимальная
1	219,1	10,2	231	9,88	10,78	9,645	10,603
2	219,1	12,7	231	12,30	13,43	12,01	13,21

При известном диаметре трубы после калибровочного стана и при установке вычислительного комплекса с программным обеспечением по расчету средней толщины стенки возможно для контроля веса определять допустимые значения средней толщины стенки для каждой трубы. Для этого вводится только диаметр трубы.

При прокатке труб на пилигримовой установке именно пилигримовый стан является тем агрегатом, который может регулировать среднюю толщину стенки за счет перемещения верхнего вала относительно нижнего. Поэтому предлагаемая методика настройки этого стана по средней толщине стенки позволяет управлять процессом обеспечения заданных параметров трубы с точки зрения предельных отклонений по массе.

ВЫВОДЫ

Разработана методика расчета настройки пилигримового стана для получения нужной величины средней толщины стенки при оптимизации процесса прокатки с точки зрения предельных отклонений по массе.

Предложенная методика может быть использована при обеспечении автоматизированного приборного контроля средней толщины стенки с помощью современных средств такого контроля, например, радиационного.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Г. И. *Технология непрерывной безоправочной прокатки труб* / Г. И. Гуляев П. Н. Ившин, И. Н. Ерохин [и др.] – Москва : Металлургия, 1975. – 224 с.
2. *Технология производства труб : учебник для вузов* / Потанов И. Н., Коликов А. П., Данченко В. Н. [и др.] – М. : Металлургия, 1994. – 528 с.

Фридман В. М. – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник ГП «ВНИТИ-Тест»;

Харитонов А. П. – студент НМетАУ;

Постный В. А. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ.

ГП «ВНИТИ-Тест» – Государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности им. Я. Е. Осады, г. Днепропетровск.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: konfmetalform@gmail.com