

ИЗГИБ ТЕРМИЧЕСКИ АРМИРОВАННОГО ЛИСТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ

Максимов А.Б., Сушков О.Д., Ерохина И.С.

Керченский государственный морской технологический университет, г.Керчь

Ключевые слова: сталь, труба, изгиб, прочность, пластичность, термическое армирование.

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос влияния технологической операции гибки листа при изготовлении трубы. В связи с тем, что при изгибе одна сторона растягивается, а другая сжимается, то листовый материал для изготовления трубы должен быть с одной стороны пластичный, а с другой – прочный. Более прочная сторона изгибаемого листа должна быть внутренней поверхностью трубы.

BENDING THE THERMALLY-REINFORCED SHEET IN THE PRODUCTION OF PIPES

Maksimov A.B., Sushkov O.D., Erokhina I.S.

Kerch state marine technological university, Kerch

Keywords: steel, pipe, bending, strength, plasticity, thermal reinforcement.

Abstract. The paper deals with the influence of the technological operation of sheet bending in the manufacture of pipes. Due to the fact that when bending one side is stretched and the other is compressed, the sheet material for the manufacture of pipes must be on the one hand plastic, and on the other – durable. The stronger side of the bent sheet should be the inner surface of the pipe.

Любой конструкционный материал должен обладать определенным комплексом эксплуатационных свойств. Одним из свойств конструкционного материала является его способность противостоять разрушению в условиях эксплуатации. Поэтому необходимо учитывать схему напряженно-деформированного состояния металла, обусловленную условиями эксплуатации. Более того, надо учитывать влияние технологических операций для изготовления изделия из листа.

В данной работе рассмотрены некоторые требования, предъявляемые к материалу, способствующие снизить риск аварийности и негативных последствий разрушения для магистральных труб большого диаметра для газо- и нефтепроводов.

Трубы газо- и нефтепроводов в процессе эксплуатации испытывают избыточное внутреннее давление. Это приводит к возникновению плоского напряженного состояния. Разрушающее напряжение (меридиональное) в этом случае направлено по касательной к образующей трубы. Анализ аварий на газо- и нефтепроводах показывает, что длина разрушенной части трубопровода может составлять несколько километров.

Предотвратить разрушение металла невозможно, однако, повысить конструкционную прочность и уменьшить длину разрушения трубопровода является реальной задачей.

Обеспечение повышения конструкционной прочности трубы можно достигнуть, используя сталь повышенными прочностными свойствами. Однако, это приводит к противоречию с технологической операцией изгиба листа в трубу. При изгибе внутренняя сторона листа испытывает деформированное состояние сжатия, а внешняя сторона – деформированное состояние растяжения.

На рисунке 1 приведена схема напряженного состояния широкого бруса при изгибе. В зоне растяжения (1) действует линейное напряженное состояние растяжения, а в зоне сжатия (2) – состояние сжатия. В центральной части бруса – деформация сдвига.

В стенке труб, находящейся под действием избыточного внутреннего давления, действует двухосное напряженное состояние [1] (рис. 2): окружное – σ_0 , и меридиональное – σ_m , причем $\sigma_m = \sigma_0/2$.

Результирующая схема напряженного состояния трубы с учетом напряженных состояний технологического характера и избыточного внутреннего давления приведена на рисунке 3.

Причем:

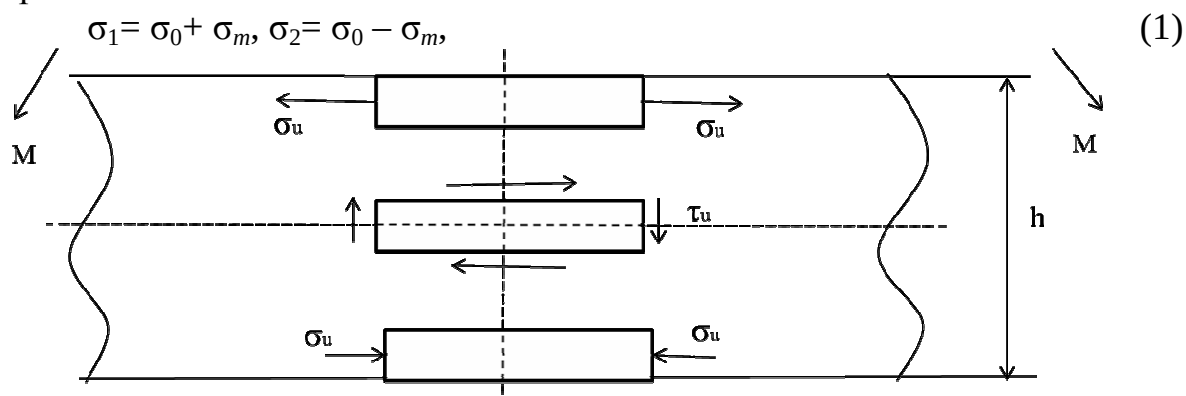


Рис. 1. Схема напряженного состояния широкого бруса толщиной h при изгибе изгибающим моментом M : σ_u – нормальные напряжения изгиба, τ_u – касательные напряжения изгиба

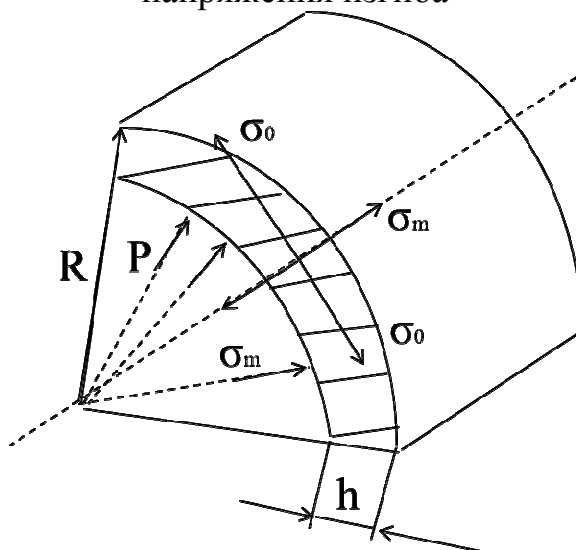


Рис. 2. Напряжения в трубе под действием избыточного внутреннего давления P : σ_0 – окружное напряжение, σ_m – меридиональное напряжение

Расчеты показывают, что для трубы с толщиной стенки 17 мм диаметром 1420 мм с избыточным внутренним давлением 75 атм ($82,5 \cdot 10^5$ Па) окружное напряжение, вычисленное по формуле:

$$\sigma_0 = \frac{PR}{2\delta}, \quad (2)$$

где P – избыточное внутреннее давление; R – радиус трубы; δ – толщина стенки трубы.

Окружное напряжение составляет порядка 300 МПа.

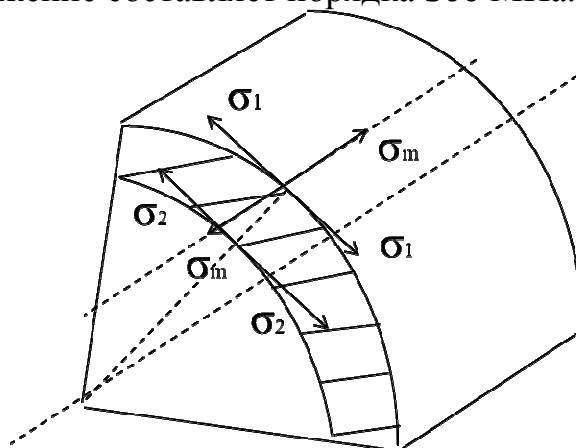


Рис. 3. Результирующие напряжения в трубе (технологические и под действием избыточного внутреннего давления)

Деформация листа на поверхности для изготовления трубы при изгибе можно рассчитать по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{2R} \cdot 100\%, \quad (3)$$

Подставляя численные значения, получим, что $\varepsilon \approx 1,2\%$. Аналогичная деформация при растяжении образует внутреннее напряжение 10-15 МПа.

Таким образом, напряжения σ_1 и σ_2 вычисленные по формуле (1) будут соответственно 40 и 20 МПа.

Если величина напряжения σ_1 превысит предел текучести стали, то образуется трещина, распространяющаяся вдоль образующей трубы, т.е. перпендикулярно напряжению σ_1 .

Различие в деформированном состоянии двух сторон листа при изгибе должно быть учтено при производстве толстолистового проката. Отсюда следует, что одна сторона листа, которая будет внешней стороной трубы должна иметь большую пластичность, чем противоположная. Однако, увеличение пластичности стали неизбежно приводит к снижению прочностных свойств. Поэтому, учитывая изгиб листа при изготовлении трубы, одна сторона листа должна иметь повышенную пластичность, а другая – повышенную прочность.

Такое сочетание двух противоположных требований может быть достигнуто, если одна сторона листа имеет структуру нормализованного металла, а вторая термически армированную: феррито-перлитная матрица с участками термоупрочненного металла [2].

В таблице представлены данные механических свойств ряда трубных сталей в нормализованном и термоупрочненном состояниях. Видно, что

повышение прочностных характеристик при термоупрочнении приводит к снижению пластичности стали.

По данным работы [3] холодный изгиб стального листа сопровождается повышением прочностных характеристик и снижению пластичности и вязкости. При указанной степени деформации повышение предела текучести для разных марок сталей (табл. 1) в нормализованном состоянии составляет (40-100) МПа, при снижении относительного удлинения на (5-6) %.

Снижение пластичности стали (относительного удлинения) приводит к уменьшению ресурса долговечности стали и области обратимой повреждаемости. В работе [4] предложено оценивать область обратимой повреждаемости по формуле:

$$\varepsilon = (0,2-0,3) \delta, \quad (4)$$

где ε - деформация металла, соответствующая обратимой повреждаемости;

δ - относительное удлинение стали.

Табл. 1. Механические свойства трубных сталей

Марка стали	Нормализованное состояние				Термоупрочненное состояние			
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	KCU ⁻⁷⁰ Дж/м ²	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	KCU ⁻⁷⁰ Дж/м ²
СтЗсп	3300	4440	330	-	3370	5520	226	0,41
09Г2	3300	4470	336	2,75	4470	5570	224	1,85
10Г2С1	3325	5525	335	1,84	4480	5590	229	1,35
16Г2АФ	4685	6685	227	1,1	7740	7790	221,5	0,45

Поэтому снижение исходной пластичности стали уменьшает область обратимой повреждаемости стали, вследствие этого сокращается ресурс долговечности трубы в процессе эксплуатации.

На основании проведенной работы предположено, что при изгибе листа в трубу упрочнять сжимаемую поверхность листа.

Список литературы

1. Дарков А.В. Сопротивление материалов / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро – М.: Высшая школа, 1989. – 623 с.
2. Максимов А.Б. Термически армированный толстолистовой прокат из низколегированных сталей // Вопросы материаловедения. – 2010. – №3. – С. 40-45.
3. Максимов А.Б. Упрочняющая обработка толстолистового проката. – Керчь: Изд. КГМТУ, 2012. – 124 с.
4. А.с. №1433990 СССР. Способ обработки листового проката / Подгайский М.С., Максимов А.Б., Наливайченко Т.М. – Опубл. 30.10.1980, Бюл. №40.

Сведения об авторах:

Максимов Александр Борисович – к.т.н., доцент, КГМТУ, г.Керчь;

Сушков Олег Данилович – к.т.н., доцент, КГМТУ, г.Керчь;

Ерохина Ирина Сергеевна – старший преподаватель, КГМТУ, г.Керчь.