

раздельных карманов для выгрузки готовых труб. Однако, эти недостатки компенсируются соответствующим планированием производства и несложным доукомплектованием выходной стороны стана. Отметим, что зависимость (9) позволяет рассчитать минимально допустимую длину технологической вставки. Её использование в расчетах позволит минимизировать длину труб второго сорта и, соответственно, производственные отходы, если в качестве технологических вставок будут использоваться бракованные трубы, которые так или иначе будут вырезаны в металлом.

#### Выводы

Предложен и реализован способ холодной пильгерной прокатки прецизионных труб с использованием технологических вставок. Способ обеспечивает стабильность геометрических размеров по всей длине прокатываемых на станах ХПТ прецизионных

труб. Получены расчетные зависимости для определения минимально допустимой длины технологических вставок.

#### Библиографический список

1. Столетний М.Ф., Клемперт Е.Д. Точность труб. – М.: Металлургия, 1975. – 239 с.
2. Фролов В.П., Данченко В.М., Фролов Я.В. / Холодная пильгерная прокатка труб: Монография. - Днепропетровск: Пороги, 2005. – 245 с.

Поступила 13.02.2013

УДК 621.774.3:621.181.021669/14

Опрышко Л.В., Сенина Т.В. /к.т.н./,  
Маленик А.О.  
ГП «НИТИ»

Производство

Дейнеко Л.Н. /д.т.н./  
НМетАУ

## Механические свойства углеродистых котельных труб из заготовки разных способов производства

*По результатам статистической обработки сертификатных данных ОАО «СинТЗ» за 2011-2012 гг. оценено влияние двух способов производства трубной заготовки на механические свойства горячекатаных и холоднодеформированных котельных труб из стали 20. Ил. 6. Табл. 4. Библиогр.: 2 назв.*

**Ключевые слова:** углеродистые котельные горячекатаные и холоднодеформированные трубы, горячекатаная трубная заготовка из слитка стационарной разливки, недеформированная непрерывнолитая трубная заготовка

*According to the results of statistical processing of data of CAs' SinTZ "for 2011-2012. evaluated the effect of two methods of producing billets on the mechanical properties of hot-rolled and cold-formed steel boiler tubes 20.*

**Keywords:** carbon, hot-rolled and cold-boiler pipes, hot-rolled billet ingot casting stationary, undeformed continuous cast billet.

#### Введение

В опубликованной ранее статье [1] уже говорилось об условиях работы котельных труб из стали 20, а также о свойствах горячепрессованных котельных труб из непрерывнолитой заготовки производства ОАО «Волжский трубный завод» («ВТЗ»). Металлургические мощности ОАО «ВТЗ» позволяют не только обеспечивать собственные потребности в непрерывнолитой трубной заготовке, но и поставлять ее для производства горячекатаных и холоднодеформированных труб предприятию ОАО «Синарский трубный завод» («СинТЗ»), входящему вместе с ОАО «ВТЗ» в состав единой Трубной Металлургической Компании (ТМК). Для изготовления котельных труб из стали 20 ОАО «СинТЗ», кроме недеформированной заготовки непрерывной разливки производства ОАО «ВТЗ», ис-

пользует также полученную из слитка стационарной разливки деформированную (катаную) заготовку поставки двух уральских металлургических предприятий - ОАО «Златоустовский металлургический завод» («ЗМЗ») и ОАО «Челябинский металлургический комбинат» («ЧМК»).

**Цель** – сопоставить механические свойства котельных труб из стали 20, изготовленных из трубной заготовки разных способов производства (деформированная – горячекатаная, из слитка стационарной разливки, и недеформированная непрерывнолитая), с учетом влияния химического состава и способа производства труб (горячая прокатка и холодная деформация с нормализацией).

#### Материал и методика

Материалом исследования служили горяче- и

© Опрышко Л.В., Сенина Т.В., Маленик А.О., Дейнеко Л.Н., 2013 г.

**Таблица 1. Результаты анализа химического состава (по сертификатам на заготовку) металла труб, изготовленных в ОАО «СинТЗ» в 2011-2012 гг.**

Элементы	Массовая доля элементов, %			
	норма	фактические данные различных поставщиков		
		ОАО «ВТЗ» (39 плавки)	ОАО «ЧМК» (74 плавки)	ОАО «ЗМЗ» (13 плавки)
углерод	0,17-0,24	<u>0,18-0,23</u> 0,187	<u>0,19-0,23</u> 0,192	<u>0,19-0,22</u> 0,192
марганец	0,35-0,65	<u>0,41-0,53</u> 0,453	<u>0,40-0,55</u> 0,455	<u>0,43-0,48</u> 0,450
кремний	0,17-0,37	<u>0,20-0,31</u> 0,250	<u>0,21-0,30</u> 0,235	<u>0,24-0,31</u> 0,255
фосфор	н.б. 0,030	<u>0,004-0,020</u> 0,0103	<u>0,006-0,018</u> 0,0086	<u>0,006-0,017</u> 0,0090
сера	н.б. 0,025	<u>0,003-0,019</u> 0,0055	<u>0,006-0,018</u> 0,0085	<u>0,006-0,018</u> 0,009
хром	н.б. 0,25	<u>0,02-0,21</u> 0,135	<u>0,01-0,20</u> 0,095	<u>0,06-0,21</u> 0,100
никель	н.б. 0,25	<u>0,05-0,16</u> 0,120	<u>0,05-0,16</u> 0,078	<u>0,07-0,13</u> 0,083
медь	н.б. 0,30	<u>0,01-0,30</u> 0,215	<u>0,06-0,18</u> 0,095	<u>0,09-0,12</u> 0,100
сумма (C+Mn+Si+P+Cr)	<u>0,695-1,54</u> 1,12	<u>0,813-1,204</u> 1,032	<u>0,814-1,287</u> 1,028	<u>0,978-1,14</u> 1,038

*Примечание. В числителе – предельные значения, в знаменателе – среднее (50 %)*

холоднодеформированные котельные трубы из стали 20 текущего производства ОАО «СинТЗ» по ТУ 14-3-460 и ТУ 14-3Р-55. В работе осуществили статистическую обработку сертификатных данных механических свойств труб, изготовленных в период 2011-2012 гг. из трубной заготовки разных поставщиков (ОАО «ВТЗ», ОАО «ЧМК» и ОАО «ЗМЗ»), в зависимости от суммарного содержания неизбежных, упрочняющих сталь 20, примесных элементов (углерод, марганец, кремний, фосфор, хром).

**Результаты исследований**

В табл. 1 сведены результаты обработки химического состава (по сертификатным данным) металла труб из заготовок различных поставщиков.

Детальный анализ химического состава плавки по элементам показывает:

1. По содержанию углерода все плавки укладываются в пределы 0,18-0,23 %. Подавляющее большинство плавки (более 90 %) содержит 0,19-0,21 % углерода.

2. По содержанию марганца более 90 % плавки находятся в диапазоне 0,42-0,49 %, занимающем ~56 % посередине поля марочных пределов (0,35-0,65 %).

3. По содержанию кремния плавки всех поставщиков заготовки укладываются в пределы 0,20-0,30 %, т.е. занимают половину марочного поля ближе к нижнему пределу; при этом плавки ОАО «ВТЗ» имеют меньший разброс 0,24-0,30 %, что составляет третью часть в середине марочного поля.

4. По содержанию фосфора основная масса плавки (80 %) укладывается в диапазон 0,006-0,018 %.

Металл ОАО «ЗМЗ» имеет самый узкий диапазон значений содержания фосфора 0,006-0,016 %.

5. Наиболее чистым по сере является металл ОАО «ВТЗ»: в ~95 % плавки содержание ее 0,003-0,013 %. Количество серы в 95 % плавки ОАО «ЗМЗ» и ОАО «ЧМК» находится в пределах 0,005-0,016 %.

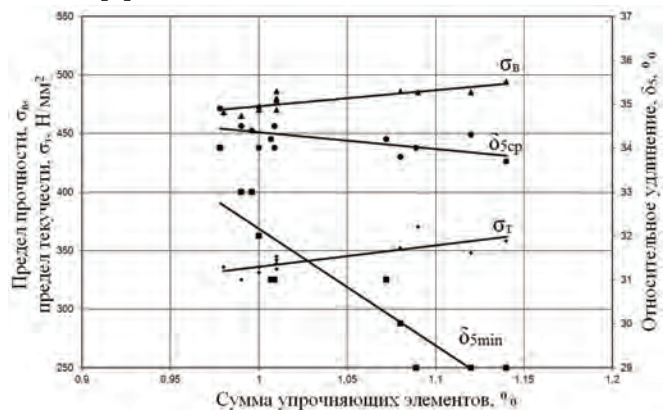
6. Массовые доли содержания хрома, никеля и меди в плавках ОАО «ЗМЗ» и ОАО «ЧМК» практически одинаковы, плавки ОАО «ВТЗ» отличаются существенно более высоким уровнем: в плавках первых двух предприятий среднее содержание хрома 0,10 %; никеля 0,08 %; меди 0,10 %; в плавках последнего, соответственно, 0,13-0,14; 0,12; 0,21 %.

7. По сумме упрочняющих сталь элементов (C+Mn+Si+P+Cr) поставщики заготовки распределяются так: наиболее широкие пределы у ОАО «ЧМК» 0,814-1,287 %; ОАО «ВТЗ» 0,813-1,204 %; ОАО «ЗМЗ» 0,978-1,140 %, что составляет, соответственно, 53,9; 46,3; 19,2 % от поля марки стали (0,7-1,5 %). В 90 % плавки всех поставщиков заготовки сумма упрочняющих элементов укладывается в диапазон 0,90-1,15 %. Составляя третью часть марочного

поля, этот диапазон распространяется от его середины к нижнему пределу.

Таким образом, для изготовления труб в ОАО «СинТЗ» в 2011-2012 гг. использована поставленная тремя поставщиками трубная заготовка, которая в среднем мало отличается по химическому составу и по сумме упрочняющих сталь 20 элементов.

Механические свойства изготовленных из поставленной заготовки горячекатаных труб и труб, подвергнутых нормализации после холодной деформации прокаткой или волочением (холоднодеформированных), проанализированы с учетом зависимости их от содержания в химическом составе заготовки суммы упрочняющих элементов (C+Mn+Si+P+Cr), т.к. известно [2], что каждый из них даже в небольших ко-



**Рис. 1. Изменение механических свойств металла горячекатаных труб, изготовленных из недеформированной непрерывной заготовки стали 20 производства ОАО «ВТЗ», в зависимости от суммарного содержания упрочняющих элементов (C+Mn+Si+P+Cr)**

**Таблица 2. Механические свойства котельных труб, изготовленных горячей и холодной деформацией из заготовки стали 20 производства ОАО «ЗМЗ»**

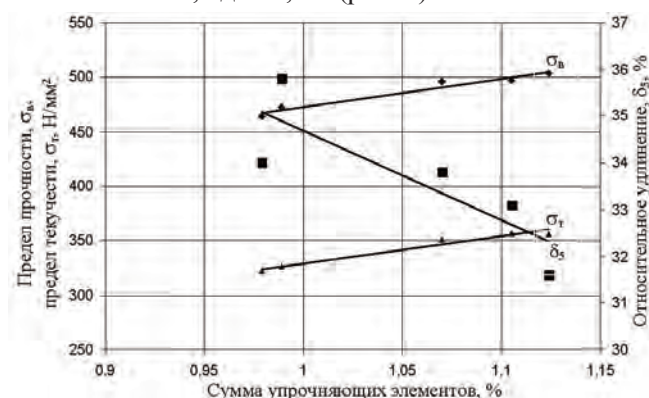
Номер плавки	Суммарное содержание упрочняющих элементов, %	Механические свойства					
		горячекатаные трубы			холоднодеформированные трубы		
		$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %
89087	0,98	450	294	34,2	462	333	34,0
89615	1,01	456	304	34,0	470	338	33,5
89593	1,07	465	325	33,8	476	342	33,2
89580	1,08	470	331	33,5	478	345	33,0
89603	1,09	475	341	33,3	480	350	32,8

личествах оказывает влияние, особенно на прочностные характеристики.

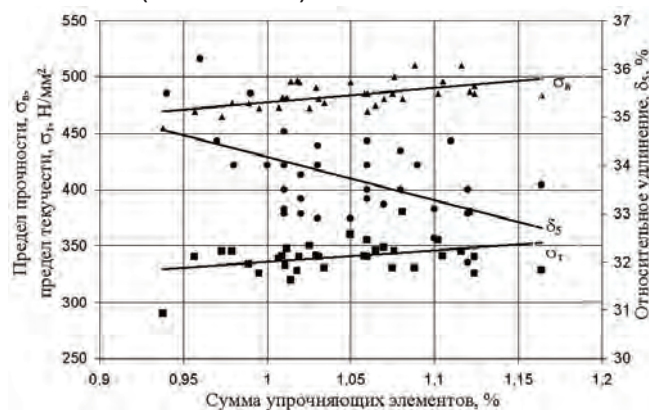
**1. ОАО «СинТЗ» – ОАО «ВТЗ»**

В горячекатаных трубах из непрерывнолитой заготовки при увеличении суммы упрочняющих элементов от 0,980 до 1,124 % имеет место повышение прочностных характеристик: предела прочности от 465 до 505 МПа, предела текучести от 325 до 362 Мпа; а также понижение относительного удлинения с 35,2 до 32,2 % (рис. 1).

В холоднодеформированных трубах из заготовки ОАО «ВТЗ» при увеличении суммы упрочняющих элементов от 0,94 до 1,16 % пределы прочности и текучести повышаются, соответственно, от 475 до 495 и от 330 до 350 Н/мм<sup>2</sup>, а относительное удлинение снижается с 34,5 до 33,0% (рис. 2).



**Рис. 2. Изменение механических свойств металла холоднодеформированных труб, изготовленных из недеформированной непрерывнолитой заготовки стали 20 производства ОАО «ВТЗ», в зависимости от содержания упрочняющих элементов (C+Mn+Si+P+Cr)**

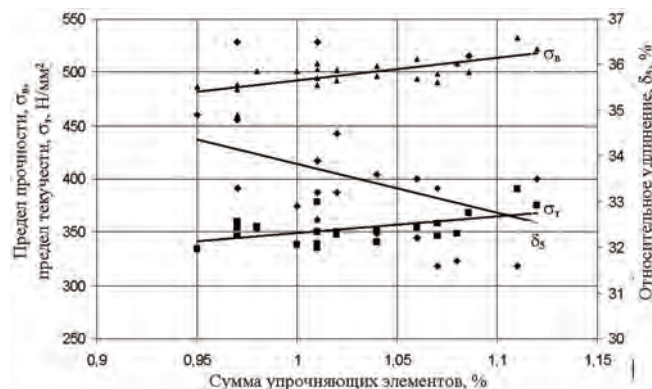


**Рис. 3. Изменение механических свойств металла горячекатаных труб, изготовленных из заготовки стали 20 производства ОАО «ЧМК», в зависимости от суммарного содержания упрочняющих элементов (C+Mn+Si+P+Cr)**

**2. ОАО «СинТЗ» - ОАО «ЧМК»**

В горячекатаных трубах размером 25-83×3-6 мм из деформированной заготовки производства ОАО «ЧМК» при увеличении суммы упрочняющих элементов от 0,95 до 1,12 % происходит повышение предела прочности (от 480 до 505 Н/мм<sup>2</sup>) и предела текучести (от 320 до 362 Н/мм<sup>2</sup>) со снижением относительного удлинения с 35,1 до 32,2 % (рис. 3).

В холоднодеформированных трубах размером 16-60×2,5-7 мм при увеличении суммы упрочняющих элементов от 0,814 до 1,287% повышение предела прочности от 475 до 490 Н/мм<sup>2</sup> и предела текучести от 335 до 350 Н/мм<sup>2</sup> сопровождается снижением относительного удлинения с 35,2 до 34,2% (рис. 4).



**Рис. 4. Изменение механических свойств металла холоднодеформированных труб, изготовленных из заготовки стали 20 производства ОАО «ЧМК», в зависимости от суммарного содержания упрочняющих элементов (C+Mn+Si+P+Cr)**

**3. ОАО «СинТЗ» - ОАО «ЗМЗ»**

Сравнили свойства горяче- и холоднодеформированных труб одинаковых плавок. В табл. 2 приведены средние значения характеристик по плавке. Анализ таблицы показывает повышение прочностных характеристик и снижение относительного удлинения даже при незначительном увеличении суммы упрочняющих элементов в стали.

На рис. 5 представлены результаты статистической обработки результатов механических испытаний холоднодеформированных труб из заготовки ОАО «ЗМЗ».

С увеличением суммы (C+Mn+Si+P+Cr) от 0,98 до 1,14 % повышаются прочностные характеристики (предел прочности от 470 до 490 Н/мм<sup>2</sup>, предел текучести от 330 до 355 Н/мм<sup>2</sup>) и снижается относительное удлинение с 34,6 до 33,8 % (средние значения). Минимальные значения относительного удлинения с



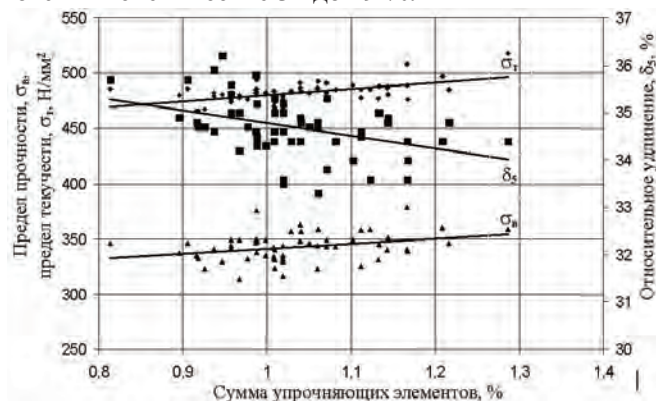
**Таблица 3. Механические свойства котельных труб, изготовленных из трубной заготовки стали 20 разных поставщиков**

Поставщик заготовки	Вид труб по способу производства	Механические свойства		
		$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
ОАО «ВТЗ»	горячекатаные	465-505	325-362	35,2-32,2
	холоднодеформированные	475-495	330-350	34,5-33,0
ОАО «ЧМК»	горячекатаные	490-510	340-365	34,4-32,2
	холоднодеформированные	475-490	337-350	35,2-34,2
ОАО «ЗМЗ»	горячекатаные	465-498	310-348	36,0-33,0
	холоднодеформированные	470-490	330-355	34,6-33,8

**Таблица 4. Значения отношения  $\sigma_T/\sigma_b$  в трубах, изготовленных в ОАО «СинТЗ» в течение 2011-2012 гг.**

Поставщик заготовки	Горячекатаные трубы			Холоднодеформированные трубы		
	число образцов	$\sigma_T/\sigma_b$		число образцов	$\sigma_T/\sigma_b$	
		минимум-максимум	среднее		минимум-максимум	среднее
ОАО «ВТЗ»	94	0,64-0,84	0,715	662	0,6-0,86	0,701
ОАО «ЗМЗ»	40	0,65-0,77	0,703	183	0,62-0,81	0,711
ОАО «ЧМК»	345	0,62-0,80	0,705	2117	0,61-0,87	0,715

увеличением суммы упрочняющих элементов снижаются интенсивнее – с 34 до 29 %.



**Рис. 5. Изменение механических свойств металла холоднодеформированных труб, изготовленных из заготовки стали 20 производства ОАО «ЗМЗ», в зависимости от суммарного содержания упрочняющих элементов (C+Mn+Si+P+Cr)**

В табл. 3 сведены результаты статистической обработки механических свойств изготовленных в 2011-2012 гг. котельных труб из трубной заготовки стали 20 разных поставщиков. Из анализа таблицы следует, что разброс значений прочностных свойств в горячекатаных трубах (независимо от поставщика заготовки или способа производства ее) больше, чем в холоднодеформированных, подвергнутых нормализации: основная масса значений предела прочности горячекатаных труб укладывается в интервал 465-510 Н/мм<sup>2</sup>, предела текучести в интервал 310-365 Н/мм<sup>2</sup>; предела прочности холоднодеформированных труб укладывается в интервал 470-495 Н/мм<sup>2</sup>, предела текучести в интервал 330-355 Н/мм<sup>2</sup>. Разброс значений относительного удлинения в трубах, нормализованных после холодной деформации, также меньше, чем в горячекатаных: 34,5-33,0 % против 36,0-32,5 %.

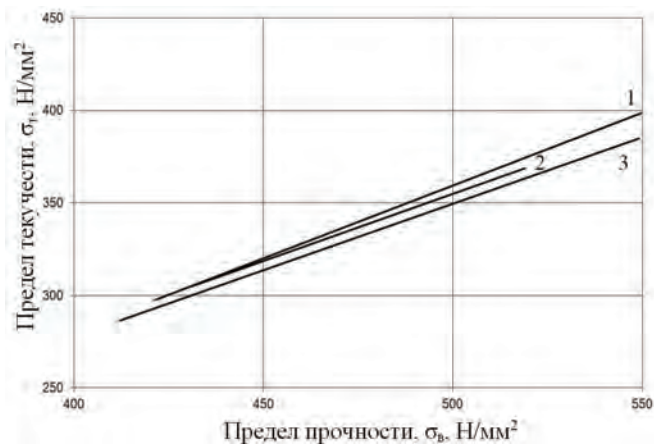
Существенных различий в механических свойствах труб, изготовленных из деформированной за-

готовки производства ОАО «ЧМК», ОАО «ЗМЗ» и недеформированной (непрерывнолитой) производства ОАО «ВТЗ», не выявлено.

Для подготовки решения о внесении в технические условия нормы отношения предела текучести к пределу прочности ( $\sigma_T/\sigma_b$ ) обработаны данные по всем трубам, изготовленным ОАО «СинТЗ» в 2011-2012 гг. Результаты обработки представлены на рис. 6 и в табл. 4.



**а**



**б**

**Рис. 6. Положение предела текучести в зависимости от предела прочности для горячекатаных (а) и холоднодеформированных (б) труб, изготовленных из трубной заготовки ОАО «ЧМК» (1), ОАО «ЗМЗ» (2), ОАО «ВТЗ» (3)**

Существенных различий в положении предела текучести в зависимости от предела прочности и уровне значений  $\sigma_T/\sigma_b$  для труб разных способов производства (горячекатаных и холоднодеформированных), а также произведенных из деформированной или

непрерывнолитой заготовки, - не установлено. При этом значения с отношением  $\sigma_T/\sigma_B < 0,60$  отсутствуют, а с отношением  $\sigma_T/\sigma_B = 0,60$  – всего два значения. В интервал  $\sigma_T/\sigma_B = 0,64-0,76$  попадают 90 % образцов при средних значениях  $\sigma_T/\sigma_B = 0,70-0,72$ . Рекомендуемая для внесения в НТД норма  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,60$  и для горячекатаных, и для холоднодеформированных (с нормализацией) труб ОАО «СинТЗ» так же, как и для прессованных (с нормализацией) труб ОАО «ВТЗ» [1], неприемлема.

#### Выводы

1. В 90 % плавок всех поставщиков заготовки сумма упрочняющих элементов укладывается в диапазон 0,90-1,15 %, составляющий третью часть марочного поля от его середины к нижнему пределу.

2. Разброс значений прочностных и пластических характеристик горячекатаных труб из металла заготовки всех поставщиков (независимо от способа производства) несколько больше, чем холоднодеформированных труб: по пределу прочности 465–510 Н/мм<sup>2</sup>, по пределу текучести 310–365 Н/мм<sup>2</sup>, по относительному удлинению 32,5–36,0 % против, соответственно, 470–495 Н/мм<sup>2</sup>, 330–355 Н/мм<sup>2</sup> и 33,0–34,5 % в холоднодеформированных.

3. С увеличением массовой доли упрочняющих элементов (С+Mn+Si+P+Cr) в пределах 0,98-1,13 % прочностные характеристики повышаются на 4-6 % (отн.), а относительное удлинение снижается на 1-1,5 % (абс.).

4. Различий в механических свойствах горячекатаных и холоднодеформированных труб, изготовленных из деформированной заготовки стали 20 производства ОАО «ЧМК», ОАО «ЗМЗ» и недеформированной (непрерывнолитой) заготовки производства ОАО «ВТЗ», не выявлено.

5. Отношение предела текучести к пределу прочности ( $\sigma_T/\sigma_B$ ) находится в пределах 0,64-0,76 для 90 % изготовленных в ОАО «СинТЗ» труб независимо от способа их изготовления (горячая прокатка или холодная деформация с последующей нормализацией) и способа производства трубной заготовки (деформированная или непрерывнолитая). При указанных в технических условиях на котельные трубы из стали 20 нормативных значений прочностных характеристик рекомендуемая норма  $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,60$  неприемлема.

#### Библиографический список

1. Опрышко Л.В., Сенина Т.В., Маленик А.О. Свойства котельных горячепрессованных труб из непрерывнолитой заготовки стали 20 // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* - 2012. - № 5. - С. 56-59.

2. Гудремон Э. Специальные стали. – М.: Металлургиздат, 1960. - 2638 с.

**Поступила 13.02.2013**



### Вниманию авторов и читателей!

ООО «Укрметаллургинформ «НТА» проведена большая работа по созданию архива электронной версии журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность» за период с 2004 г. по текущий номер. Информировем о появившейся возможности осуществления подписки на архив электронной версии журнала.

Напоминаем о возможности оформления подписки через редакцию, начиная с любого ранее вышедшего номера.

Сотрудничество с ООО «Укрметаллургинформ «НТА»  
создает надежный информационный фундамент Ваших достижений.