

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ ХЛАДОСТОЙКОСТИ ГОРЯЧЕДЕ- ФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛИ 09Г2С

Битюков С.М.<sup>1</sup>, Попцов М.Е.<sup>1</sup>  
Жукова С.Ю.<sup>2</sup>, Софрыгина О.А.<sup>2</sup>, Соловьева Е.И.<sup>2</sup>, Круглова Е.В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ЕФ ОАО «РосНИТИ» (г. Екатеринбург),  
<sup>2</sup>ОАО «СинТЗ» (г. Каменск-Уральский).

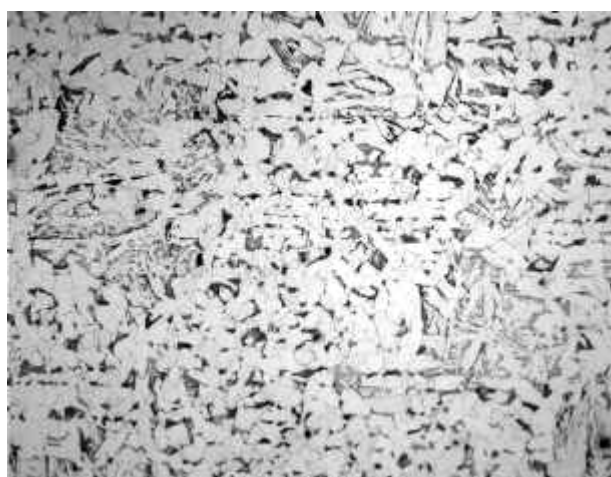
Бесшовные газлифтные трубы в хладостойком исполнении из стали марки 09Г2С изготавливаются в ОАО «СинТЗ» по техническим условиям ТУ 14-ЗР-1128 и ТУ 14-161-184. Данные ТУ предусматривают требования к ударной вязкости при температуре испытания минус 60°С (KCV<sub>-60</sub>) не менее 29,4 Дж/см<sup>2</sup> (3 кгс м/см<sup>2</sup>).

Основная задача при производстве данного вида труб – получение требуемых механических свойств и ударной вязкости с проведением нормализации с прокатного нагрева, т. е. исключение отдельной операции термической обработки, что существенно упрощает процесс изготовления труб.

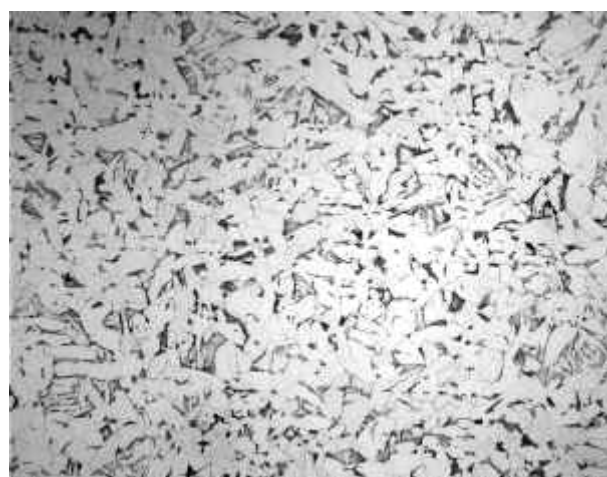
До 2004 года производство газлифтных труб в условиях ОАО «СинТЗ» осуществлялось по технологии, разработанной с учетом особенностей

катаной трубной заготовки. Начиная с 2004 года, в производстве данного вида труб используется непрерывно-литая трубная заготовка (НЛЗ). При этом на практике имеют место отклонения по низким значениям ударной вязкости KCV<sub>-60</sub>, которые устраняются путем проведения дополнительной термической обработки (высокого отпуска).

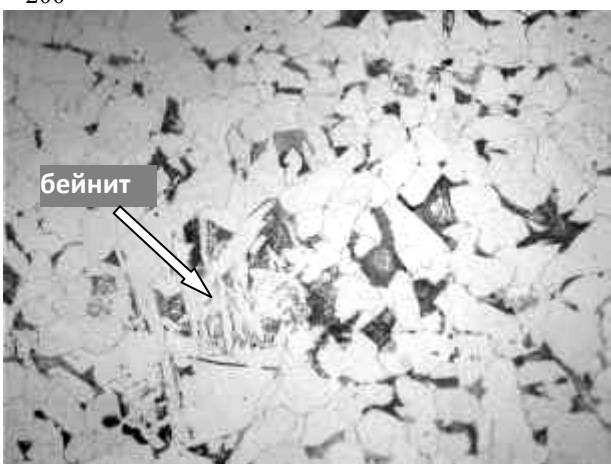
В микроструктуре всех образцов, не выдержавших испытания по ударной вязкости, присутствуют участки бейнита, как индикатора процессов, протекающих при распаде аустенита при наличии в стали повышенного содержания марганца и остаточных примесей. Бейнитные участки расположены в виде строчек и отдельных участков, его количество достигает 20-25% (рис. 1).



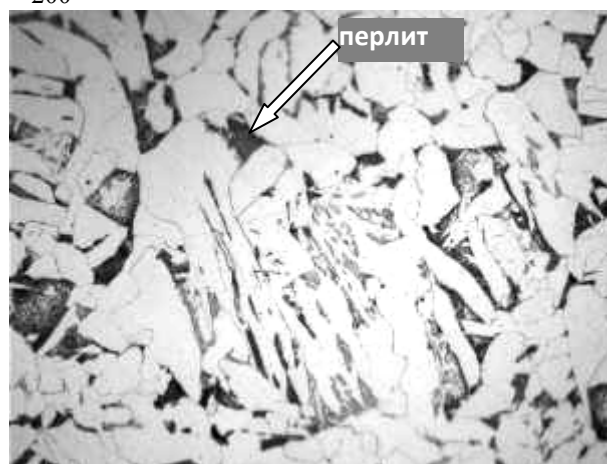
× 200



× 200



× 500



× 500

Рис. 1. Микроструктура труб с ударной вязкостью 17-27 Дж/см<sup>2</sup>  
(при норме  $\geq 29,4$  Дж/см<sup>2</sup>)

После дополнительного высокого отпуска, приводящего к распаду бейнита с выделением дисперсных цементитных частиц, значения ударной вязкости существенно возрастают.

Для выяснения причин формирования различной микроструктуры в трубах из стали марки

09Г2С после обработки по одинаковому режиму был проведен статистический анализ содержания легирующих и примесных элементов в катаных (ОАО «НТМК») и непрерывно-литых (ОАО «СТЗ», ОАО «ВТЗ») трубных заготовках различных поставщиков (табл. 1).

Таблица 1

Поставщик заготовки	Содержание химических элементов, %														
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Al	Nb	Ti	As	N
ОАО «НТМК»	0,09-0,10	0,50-0,62	1,36-1,45	0,009-0,014	0,015-0,018	0,011-0,022	0,045-0,050	0,004-0,002	0,005-0,006	0,006-0,008	0,029-0,034	-	0,002	-	0,0036-0,0046
ОАО «СТЗ»	0,10-0,12	0,51-0,64	1,47-1,56	0,002-0,006	0,007-0,009	0,07-0,09	0,11-0,22	0,02-0,03	-	0,18-0,24	0,02-0,03	-	0,01	0,006-0,009	0,005-0,009
ОАО «ВТЗ»	0,10-0,12	0,53-0,61	1,33-1,41	0,001-0,009	0,007-0,013	0,05-0,09	0,12-0,17	0,02	-	0,19-0,26	0,02-0,03	-	-	0,01	0,005-0,007

Наиболее стабильные результаты при изготовлении труб в хладостойком исполнении имеют место при применении катаных трубных заготовок производства ОАО «НТМК», являющихся наиболее чистыми по «цветным» примесям (Ni, Cu, Cr) и имеют пониженное содержание углерода и, отчасти марганца, по сравнению с заготовками ОАО «СТЗ» и ОАО «ВТЗ». В итоге, за счет повышенного содержания C, Mn, Ni и Cu в заготовках поставки ОАО «СТЗ», увеличивается устойчивость переохлажденного аустенита, и его распад

при нормализации с прокатного нагрева частично происходит по промежуточному механизму.

Для уменьшения указанного влияния повышенного содержания марганца и остаточных примесей был опробован химический состав с пониженным содержанием таких стабилизаторов аустенита, как марганец и цветные примеси (табл. 2).

Таблица 2

	Содержание химических элементов, %													
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	As	N	
<b>Рекомендуемый хим. состав</b>	0,09-0,12	0,50-0,80	<b>1,25-1,45</b>	≤ 0,020	≤ 0,020	≤ <b>0,10</b>	≤ <b>0,15</b>	≤ <b>0,02</b>	≤ <b>0,20</b>		≤ <b>0,01</b>	≤ 0,08	≤ 0,008	
Требования СТО ТМК 56601056-0008-2006	0,09-0,12	0,50-0,80	1,30-1,60	≤ 0,020	≤ 0,020	≤ 0,25	≤ 0,30	-	≤ 0,30	0,02-0,05	-	≤ 0,08	≤ 0,008	

В июне 2010 г. в ОАО «СинТЗ» из опытной трубной заготовки поставки ОАО «СТЗ» стали марки 09Г2С в количестве 7 плавок было изготовлено 4 типоразмера труб: 159×6 мм; 159×8 мм;

159×10 мм; 159×12 мм по ТУ 14-3-1128, 14-161-184.

Химический состав металла опытных плавок трубной заготовки представлен в табл. 3.

Таблица 3

Плавка	Массовая доля элементов, %												
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N	As	Mo	Ti	Al
	Сертификатный химический состав (трубной заготовки)												
СВ 25900	0,10	1,37	0,51	0,004	0,008	0,06	0,11	0,13	0,007	0,007	0,02	0,01	0,02
СВ 25930	0,10	1,37	0,54	0,004	0,008	0,06	0,12	0,18	0,007	0,007	0,02	0,01	0,02
СВ 25910	0,11	1,43	0,52	0,004	0,009	0,06	0,11	0,18	0,006	0,007	0,02	0,01	0,02
СВ 25920	0,11	1,40	0,54	0,003	0,007	0,06	0,11	0,16	0,006	0,007	0,02	0,01	0,02
СВ 25940	0,11	1,40	0,52	0,003	0,008	0,05	0,11	0,17	0,007	0,006	0,02	0,01	0,02
СВ 25950	0,11	1,40	0,53	0,004	0,008	0,06	0,11	0,19	0,007	0,007	0,02	0,01	0,02
СВ 25960	0,11	1,44	0,53	0,003	0,008	0,06	0,11	0,16	0,007	0,007	0,02	0,01	0,02

Механические свойства труб, изготовленных из опытных плавок при проведении нормализации в линии стана, полностью соответствуют

требованиям ТУ 14-3-1128 и ТУ 14-161-184 (табл. 4).

Таблица 4

Размер, мм	Партия	Плавка	$\sigma_{в}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{т}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	KCV <sup>-60°C</sup> , кгс м/см <sup>2</sup>
159x6	123	СВ 25950	52,0-52,0	37,5-37,0	31,0-32,0	16,2; 19,8
	124	СВ 25900	50,0-51,0	35,5-36,5	35,0-34,0	14,9; 16,3; 15,3; 14,5; 15,6; 15,6
	125	СВ 25900	52,0-54,0	38,0-38,5	31,0-30,0	16,5; 15,8; 13,8; 16,8
159x6	123	СВ 25950	52,0-52,0	37,5-37,0	31,0-32,0	16,2; 19,8
	124	СВ 25900	50,0-51,0	35,5-36,5	35,0-34,0	14,9; 16,3; 15,3; 14,5; 15,6; 15,6
	125	СВ 25900	52,0-54,0	38,0-38,5	31,0-30,0	16,5; 15,8; 13,8; 16,8
159x8	135	СВ 25950	50,0-50,0	35,5-35,0	29,0-34,0	16,8; 16,9
	136	СВ 25910	51,0-51,0	36,5-36,0	37,0-36,0	12,7; 19,9
	139	СВ 25920	50,0-51,0	36,5-36,5	31,0-31,0	15,0; 19,7
	140	СВ 25940	52,0-52,0	38,5-37,0	32,0-32,0	14,6; 21,2
	141	СВ 25930	50,0-50,0	36,5-36,5	33,0-32,0	16,6; 16,1; 17,6; 19,5
159x10	147	СВ 25960	52,0-51,0	37,0-37,0	38,0-30,0	15,0; 19,7
159x12	245	СВ 25930	52,0-52,0	38,0-38,0	34,0-34,0	29,8; 44,2; 30,0; 44,6
<b>Требования ТУ 14-3-1128</b>	<b>48,0-60,0</b>	<b>≥27,0</b>	<b>≥21,0</b>	<b>≥3,0</b>		
<b>Требования ТУ 14-161-184</b>	<b>≥48,0</b>	<b>≥27,0</b>	<b>≥22,0</b>	<b>≥3,0</b>		

Результаты последних испытаний механических свойств и хладостойкости труб, изготовленных из НЛЗ с рекомендованным в таблице 2 химическим составом, показали, что важным является ограничение содержания в химическом составе стали обоих стабилизаторов аустенита - углерода и марганца. При содержании углерода вблизи верхнего рекомендованного предела содержание марганца должно быть на нижнем пределе и наоборот. Данное условие может достигаться введением ограничения на величину углеродного эквивалента  $C_{эkv}$ :

$$C_{эkv} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Cu+Ni)/15 \leq 0,38.$$