



УДК 669.742

Поступила 25.04.2016

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СТАЛИ 10Г2БФ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ CHANGING THE PROPERTIES OF THE STEEL 10G2BF AFTER HOT ROLLING

*А. Б. СТЕБЛОВ, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь,
ул. Купревича, 10. E-mail: anver_steblov@mail.ru,*

*А. А. ЗЛОБИН, ООО «Инновационные металлургические технологии», Технопарк Сколково, г. Москва,
Россия, ул. Луговая, 4. E-mail: info@inmet-sk.com*

*A. B. STEBLOV, Physical and Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
10, Kuprevich str. E-mail: anver_steblov@mail.ru,*

*A. A. ZLOBIN, LLC «Innovative Metallurgical Technology», Technopark Skolkovo, Moscow, Russia,
4, Lugovaya str. E-mail: info@inmet-sk.com*

Проведены исследования по горячей прокатке образцов трубной стали из демонтированной магистральной газовой трубы. Показано, что нагрев и последующая деформация металла повышают прочностные свойства и обеспечивают требуемый уровень механических свойств в готовом прокате.

The investigations on hot-rolling of steel pipe samples from the dismantled magistral gas pipe were held. It was shown that heating and subsequent deformation of the metal improves the strength properties and provides the required level of mechanical properties in the finished rolled steel.

Ключевые слова. *Магистральная газовая труба, образец, горячая прокатка, механические свойства.*

Keywords. *Magistral gas pipe, sample, hot-rolling, mechanical properties.*

Ежегодно в России ремонтируется и заменяется более 400 км магистральных газопроводных труб большого диаметра от 1020 до 1420 мм. Толщина трубы колеблется от 12 до 32 мм. Марки стали углеродистые по ГОСТ 380, 1050 и низколегированные по ГОСТ 19281. На вторичный рынок ежегодно поступает около 120 тыс. т демонтированных труб. Часть из них восстанавливается и реализуется для менее ответственного использования. Значительная часть отгружается в виде металлолома. В СНГ в последние годы возникли мини-производства, на которых эти трубы раскраивают на полосы и прокатывают из них мелкосортный прокат, в том числе полосы, угловой прокат с полкой от 25 до 63 мм, швеллеры № 5 и 6,5, арматуру А240-А400С. Также их используют в качестве материала для производства сварных профилей и шпунтов. Опасением потребителя этих профилей является соответствие механических свойств и эксплуатационные свойства такого проката.

В данной статье приведены результаты исследований уровня механических свойств стали на образцах из демонтированной газовой трубы из стали 10Г2БФ.

Цель проводимых исследований – оценка исходных механических характеристик стали после длительного срока эксплуатации труб в условиях магистрального газопровода; оценка возможности влияния режимов прокатки и термообработки на восстановление механических свойств стали; определение области режимов термомеханической обработки полосовой стали для получения механических характеристик стали, удовлетворяющих требованиям ТУ 14-3-1689-2000 (ТУ 14-105-644-2000).

В период с 22 по 30 июля 2013 г. в Институте металлургии и материаловедения (ИМЕТ) им. А. А. Байкова РАН на экспериментальном стане 350 была проведена опытная прокатка образцов трубной стали 10Г2БФЮ (рис. 1).

Исследования проводили на опытных образцах, предоставленных Заказчиком, размерами 200×250 мм, толщиной 18,7 мм, вырезанных из магистральной трубы. Предположительное время эксплуатации трубы 18 лет. Из опытных образцов были нарезаны полосы шириной 65 мм.



Рис. 1. Экспериментальный участок ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН, г. Москва

Анализ исходного образца трубы (рис. 2): химический анализ: С – 0,097%; Si – 0,375; Mn – 1,78; V – 0,063; Nb – 0,027; S – 0,041; P – 0,016; Ni – 0,018; Cu – 0,011; Cr – 0,011; Al – 0,037; Ti – 0,005; Fe – 97,5%. Микроструктура полосчатая феррито-перлитная, балл зерна 4–5 по ГОСТ 5639-82. Механические свойства ГОСТ 1497-84: предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – 447 МПа; предел прочности (σ_b) – 606 МПа; относительное удлинение (δ) – 32,3%; относительное сужение (ψ) – 78,2%.

Вырезанные образцы с внешней стороны не имели следов изоляционного покрытия, поверхность с внутренней стороны трубы имела слой коррозии глубиной до 0,2 мм. Поверхность трубы ровная без видимых трещин и расслоений. Было прокатано восемь образцов.

Образцы перед прокаткой нагревали в электрической нагревательной садочной печи LEW (Германия). Шкала нагрева – 200–1250 °С. Показания температуры устанавливали по платино-родиевой термопаре в алундовом стакане, который находился на уровне футеровки печи. Объем камеры печи – 250×300×400 мм. Печь оборудована системой автоматического регулирования.

Исследования выполняли по методике планирования эксперимента на двух уровнях. Образцы нагревали в течение 20 мин. Прокатку осуществляли на лабораторном стане 350 в четыре прохода со средним обжатием 4 мм в каждом проходе. Температура начала прокатки – 1150 и 950 °С. Начальная толщина образца – 18,7 мм. Фиксировали показания раствора валков. Отдача валков $\approx 1,0$ мм. При установке раствора валков возможные отклонения от номинала стрелки составляют $\pm 0,2$ мм. После прокатки образцы охлаждали по вариантам: на воздухе от 20 до 42 с; с замачиванием в воде – 8–12 с, затем окончательно на воздухе с укладкой остывающих образцов на чугунные плиты пола.

Во время эксперимента фиксировали температуру остывания раската, выполняли фотографирование и видеосъемку. На некоторых образцах наблюдалась серповидность.

Данные проведения планируемого эксперимента приведены в табл. 1.



Рис. 2. Исходные образцы трубы из стали 10Г2БФ

Таблица 1

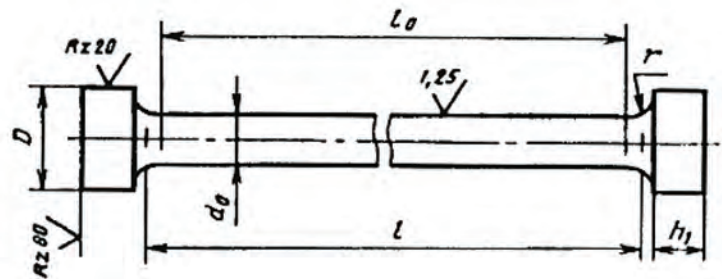
Параметр	Номер образца							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура нагрева, °С	1150	1150	1150	1150	950	950	950	950
Суммарная деформация, мм	11,3	11,3	12,3	12,3	12,05	12,13	12,06	12,3
Охлаждение	Вода+воздух	Воздух	Вода+воздух	Воздух	Вода+воздух	Вода+воздух	Воздух	Воздух
Температура после охлаждения в воде/воздухе, °С	н/д	691	505	724	190	120	665	682



Рис. 3. Катаные образцы



а



б

Рис. 4. Универсальная испытательная машина ИНСТРОН 3382 (а); вид образца для испытаний на растяжение (б)

После прокатки и охлаждения образцы маркировали мелом и ударными клеймами по концам образца с двух сторон (рис. 3). От охлажденных образцов отбирали пробы для исследования химического состава, микроструктуры и механических свойств. Пробы для определения механических свойств были отобраны поперек линии прокатки и оси трубы.

После остывания измеряли толщину каждого образца для расчета относительной степени деформации.

Испытания образцов № 0–8 проводили на универсальной испытательной машине ИНСТРОН 3382 на статическое растяжение со скоростью нагружения 1 мм/мин по ГОСТ 1497-84 (рис. 4). Размеры образца для испытаний на растяжение приведены ниже.

d_0	$l_0 = 5d_0$	$l_0 = 10d_0$	l	D	h_1	h_1
3	15	30	$l_0 + (0,5-2,0)d_0$	6	7	1,5

Перед испытанием проводили измерения образцов не менее чем в трех местах: в средней части и на границах рабочей длины. Начальную расчетную длину измеряли с погрешностью до 0,01 мм. При комнатной температуре испытания осуществляли по ГОСТ 1497-84.

В табл. 2 приведены результаты механических испытаний катаных образцов после статических испытаний.

Таблица 2

Номер образца	δ , %	ψ , %	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	l_0 , мм	d_0 , мм	Примечание
0	32,31	78,1	440	604	15	3	Исходный образец
0	17,0	78,2	447	606	30	3	Исходный образец
1	9,93	57,9	998	15	3	7/нагрев до 1150 °С, охлаждение раската в воде + воздух	
1	8,03	52,1	931	1097	30	3	8/нагрев до 1150 °С, охлаждение раската в воде + воздух
2	25,67	66,0	477	664	15	3	9/нагрев до 1150 °С, охлаждение раската на воздухе
2	16,44	68,7	475	658	30	3	10/нагрев до 1150 °С, охлаждение раската на воздухе
3	12,91	75,0	859	900	15	3	11/нагрев до 1150 °С, охлаждение в воде + на воздухе
3	9,23	79,1	663	737	30	3	12/нагрев до 1150 °С, охлаждение в воде + на воздухе
4	26,19	73,0	484	664	15	3	13/нагрев до 1150 °С, охлаждение на воздухе
4	15,67	73,0	473	656	30	3	14/нагрев до 1150 °С, охлаждение на воздухе
5	24,93	60,2	607	1016	15	3	нагрев до 950 °С, охлаждение в воде
5	12,1	64,2	н/д	987	30	3	нагрев до 950 °С, охлаждение в воде, плохо получился, предел текучести трудно определить
6	12,42	46,7	637	882	13	3	15/нагрев до 950 °С, охлаждение в воде
6	9,95	53,5	498	808	30	3	16/нагрев до 950 °С, охлаждение в воде
7	29,14	68,5	425	568	15	3	нагрев до 950 °С, охлаждение на воздухе
7	22,77	71,4	429	556	30	3	нагрев до 950 °С, охлаждение на воздухе
8	26,86	66,4	478, 451	557	15	3	17/нагрев до 950 °С, охлаждение на воздухе
8	22,47	67,7	446	550	30	3	18/нагрев до 950 °С, охлаждение на воздухе

В продольном направлении

В поперечном направлении

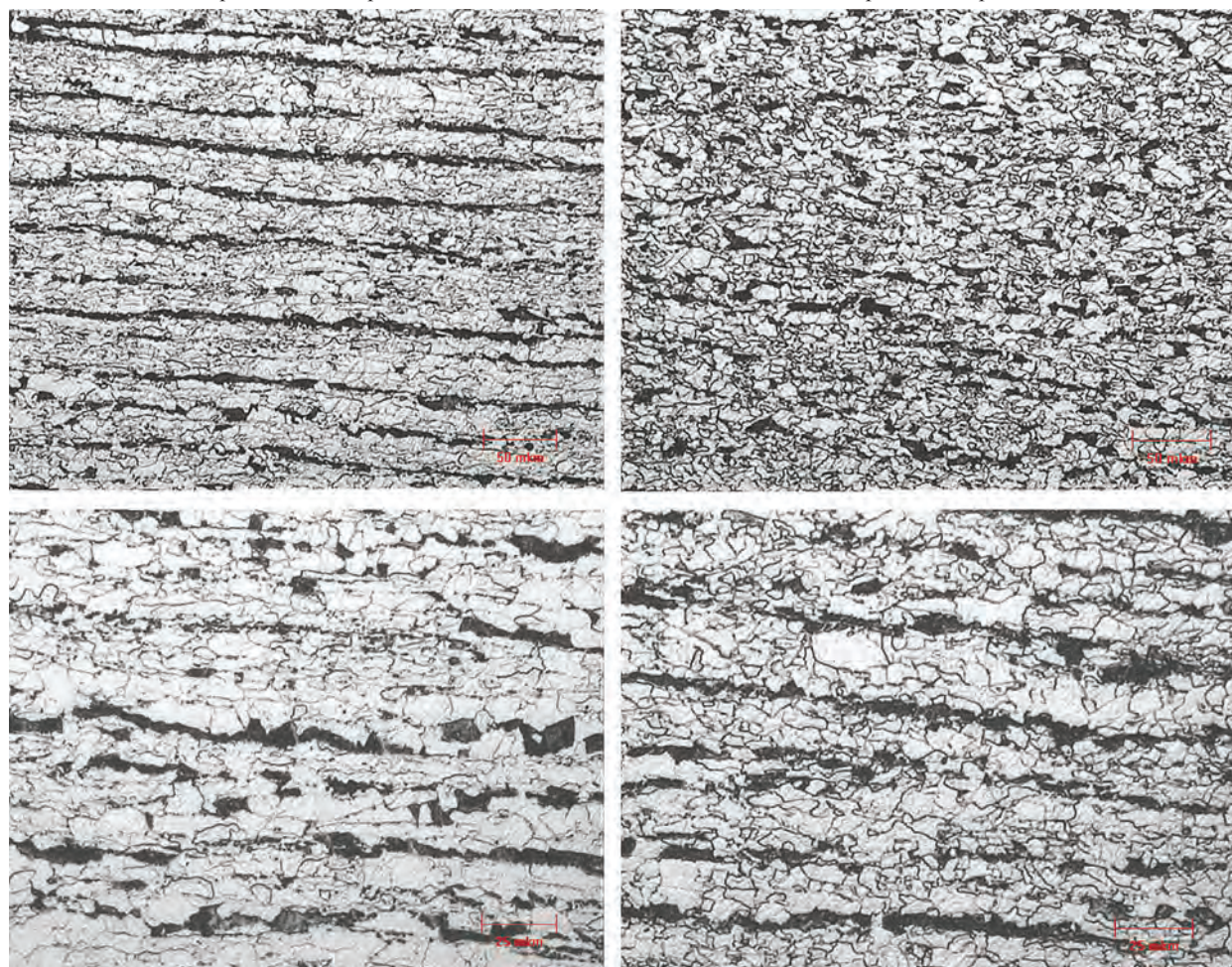


Рис. 5. Микроструктура образцов в исходном состоянии до прокатки

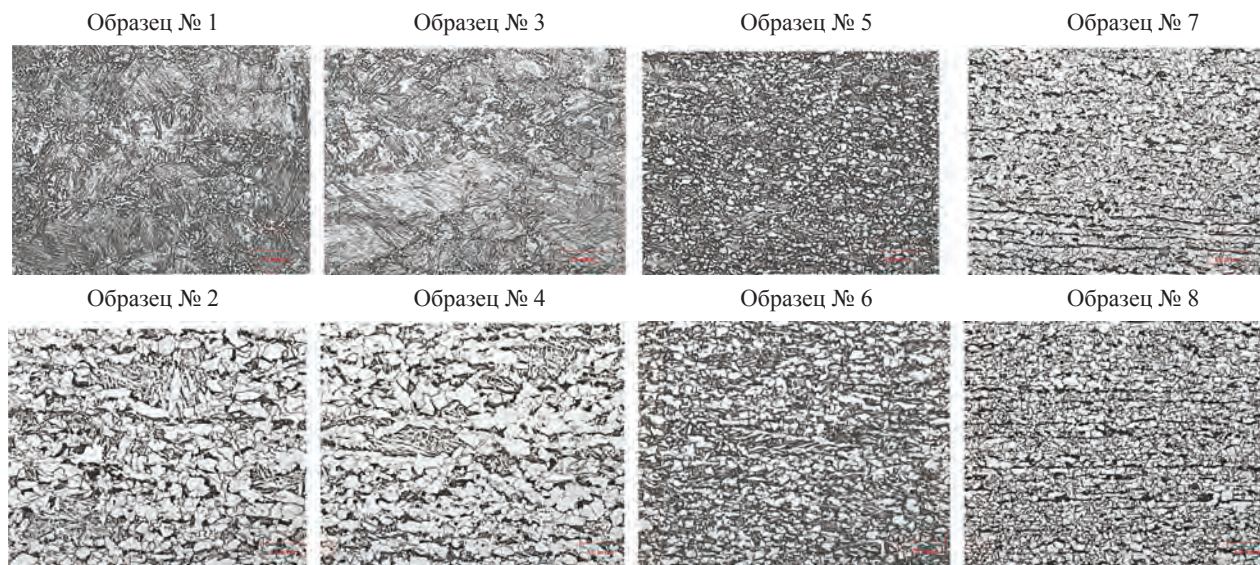


Рис. 6. Микроструктура катаных образцов № 1–8

Образец 0 (исходное состояние металла) был испытан в механической мастерской на разрыв и ударную вязкость при температурах $+20$ и -60 °С. На всех образцах фиксировали характеристики диаграммы растяжения. Одновременно выполняли механические испытания на ударную вязкость, проводили анализ микроструктуры всех образцов.

Микроструктура исходного образца показана на рис. 5. Из рисунка видно, что исходный образец представляет собой феррито-перлитную смесь зерен 3–4-го балла. Структура полосчатая. Зерна вытянуты в продольном направлении прокатки.

При нагреве образца до температуры 1150 °С с последующей прокаткой зерно увеличивается и при ускоренном охлаждении в воде аустенитная структура трансформируется в игольчатый мартенсит. При охлаждении на воздухе структура феррито-перлитная. При нагреве образца до температуры 950 °С заметного увеличения размера зерна не происходит. При охлаждении в воде структура перлитно-аустенитная, при охлаждении на воздухе – феррито-перлитная. Зерно вытянуто в направлении прокатки. Результаты исследований микроструктуры образцов приведены на рис. 6.

Выводы

1. Исследуемая сталь соответствует марке 10Г2БФЮ по ТУ 14-3-1689-2000. Пластические свойства образцов стали из демонтированной трубы находятся ближе к нижнему уровню свойств, но не достигают браковочного минимума.

2. Механические свойства образцов после нагрева и прокатки в исследуемом интервале в сравнении с исходным состоянием стали не снижаются. При прокатке образцов при температуре 1150 °С с последующим ускоренным охлаждением в воде наблюдается рост уровня предела прочности до 900 – 1097 МПа, структура металла – аустенит-мартенсит. При начале прокатки с температурой 950 °С механические свойства более низкие, но соответствуют требованиям для горячекатаного фасонного проката и арматуры по ГОСТ РД 52544.

3. Анализ микроструктуры и механических свойств на растяжение свидетельствует о возможности управления свойствами в широких пределах для обеспечения требуемых свойств готовой продукции за счет подбора температуры нагрева полосы перед прокаткой и технологии термомеханического упрочнения за счет регулируемого охлаждения в процессе прокатки и ускоренного доводоздушного охлаждения.

4. Уровень свойств ударной вязкости катаного металла при $+20$ °С и -60 °С соответствует приемочным значениям для данной марки стали.

5. Следует ожидать, что уровень механических свойств при сдаточных испытаниях готового мелко-сортного проката из стали демонтированных газовых труб будет соответствовать в готовой продукции требованиям нормативной документации.