УДК 621.021]:621.74047-412 Наука

Опрышко Л. В., Головняк Т. В., Герасименко П. В.
ГП «НИТИ»

Опыт использования недеформированной непрерывнолитой заготовки при прокатке на ТПА 50-200 котельных труб

Исследованы закономерности формирования структуры и свойств котельных горячекатаных труб из стали марок 20 и 12Х1МФ в процессе трубного передела недеформированных непрерывнолитых заготовок на трубопрокатном агрегате с 3-х валковым раскатным станом (ТПА 50-200) ОАО «Волжский трубный завод». Установлено влияние коэффициента вытяжки и термической обработки на показатели структуры и механических свойств при комнатной и пониженной температурах исследованных труб. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: *непрерывнолитая заготовка, макроструктура, горячая прокатка, котельные трубы, коэффициент вытяжки, термическая обработка, микроструктура, механические свойства, хладостойкость*

Investigation was carried out to determine mechanisms of structure and properties formation in hot rolled boiler tubes of steel 20 and 12Cr1MoV in processing tubes produced from non-deformed continuously cast billets at a tube rolling unit with a 3-roll reeling mill (TRU 50-200), Volzhsk Tube Works. Effect of reduction ratio and thermal treatment on structure and mechanical properties of the investigated tubes at indoor and subzero temperatures was established.

Keywords: *continuously cast billet, macrostructure, hot rolling, boiler tubes, reduction ratio, thermal treatment, microstructure, mechanical properties, cold resistance*

На ОАО «Волжский трубный завод» (ОАО «ВТЗ») разработана и внедрена в промышленное производство энерго- и ресурсосберегающая технология изготовления по ТУ 14-3-460 котельных труб высокой эксплуатационной надежности способом горячего прессования непосредственно из недеформированной непрерывнолитой заготовки собственного производства завода по ТУ 14-1-5319 [1, 2].

В настоящее время ОАО «ВТЗ» изготавливает по указанной экономичной технологии котельные горячепрессованные трубы из стали марок 20 и 12Х1МФ диаметром до 245 мм и толщиной стенки до 30 мм. Для изготовления горячекатаных труб по ТУ 14-3-460 на трубопрокатном агрегате с 3-х валковым раскатным станом (ТПА 50-200), в том числе более толстостенных (с толщиной стенки до 40 мм), завод использует традиционную горячекатаную трубную заготовку по ТУ 14-1-1529, полученную из слитка стационарной разливки с регламентированным нормативной документацией (НД) коэффициентом вытяжки (производства ЗАО «Волгоградский металлургический завод «Красный Октябрь», ПАО «Днепроспецсталь» и др.).

Между тем, ОАО «ВТЗ» для изготовления горячекатаных труб различного назначения на ТПА 50-200 широко использует недеформированную непрерывнолитую заготовку (НЛЗ) собственного производства.

В связи с возросшей потребностью в котельных трубах, дефицитом традиционной горячекатаной трубной заготовки возникла необходимость в проведении работы по оценке возможности использования НЛЗ для изготовления труб из стали марок 20 и 12Х1МФ по ТУ 14-3-460 способом горячей прокатки на ТПА 50-200.

Цель работы

Исследование закономерностей формирования структуры и свойств металла котельных труб из углеродистой и низколегированной стали в процессе трубного передела НЛЗ на ТПА 50-200 и оценка их соответствия требованиям НД.

Материал и методика

Для проведения исследований были выплавлены на ОАО «ВТЗ» по одной плавке стали марок 20 и 12Х1МФ с химическим составом в полном соответствии с требованиями ТУ 14-1-5319 и 14-3-460 и разлиты непрерывным способом на круг 156 (сталь 20 и 12Х1МФ), 196 (сталь 12Х1МФ) и 260 мм (сталь 20).

На ТПА 50-200 из НЛЗ указанных выше диаметров изготовлены котельные горячекатаные трубы размерами 76×6, 133×13 и 219×40 мм (сталь 20), а также – 57×12 и 159×20 мм (сталь

© Опрышко Л. В., Головняк Т. В., Герасименко П. В., 2015 г.

12Х1МФ) с коэффициентами вытяжки от 2,36 до 14,8 по различным технологическим схемам: с использованием заготовок в состоянии непосредственно после кристаллизатора и после предварительного обжатия; с механической их обработкой и без нее и др. Трубы термически обработаны в проходной роликовой печи (нормализация для труб из стали 20 и нормализация с отпуском для труб из стали 12Х1МФ).

В работе исследованы макроструктура и загрязненность неметаллическими включениями металла исходных НЛЗ; структура и механические свойства при комнатной температуре труб опытных партий в различных состояниях.

Дополнительно для оценки влияния низких температур (при хранении, транспортировке, монтаже и др.), в соответствии с требованиями Правил устройства безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды, а также паровых и водогрейных котлов (Правила Котлонадзора) [3, 4], исследовали хладостойкость металла опытных труб из обеих марок в состоянии поставки.

Контроль и оценку макроструктуры НЛЗ выполняли по ОСТ 14-1-235, труб – по ГОСТ 10243 и Приложению А к ТУ 14-3-460.

Загрязненность неметаллическими включениями металла НЛЗ осуществляли по методике оценки непрерывнолитой заготовки сравнением с эталонными шкалами Приложения А и Б к ТУ 14-1-5319; труб – по ГОСТ 1778 методом Ш6.

Микроструктуру металла труб исследовали до и после травления в 3 %-ном спиртовом растворе HNO_3 при 100 и 500-кратном увеличениях и оценивали по шкалам Приложения Б и В к ТУ 14-3-460, величину зерна – по ГОСТ 5639.

Испытания на растяжение при комнатной температуре выполняли по ГОСТ 10006, на ударный изгиб в интервале температур от +20 до -60°С – по ГОСТ 9454.

Оценку вязкой составляющей в изломах ударных образцов выполняли по методике, указанной в Приложении 3 к ГОСТ 4543.

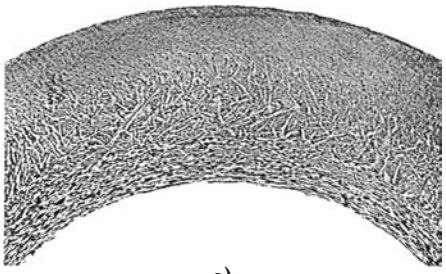
Результаты исследований

Макроструктура металла НЛЗ из обеих марок стали удовлетворительная. Основные виды допустимых дефектов макроструктуры – центральная пористость, осевая ликвация, ликвационные полоски по сечению, осевые полоски и трещины, степень развития которых не превышала норм ТУ 14-1-5319.

Макроструктура металла заготовок из стали 20 отличалась преимущественным развитием зоны транскристаллизации (столбчатых кристаллов). Макрокристаллическое строение НЛЗ из стали 12Х1МФ характеризовалось практически одинаковым развитием зон столбчатых и равноосных кристаллов.

Загрязненность неметаллическими включениями НЛЗ стали марок 20 и 12Х1МФ удовлетворяла требованиям ТУ 14-1-5319. Основные виды включений в металле заготовок обеих марок – силикаты (2,0 и 1,3 балла в стали 12Х1МФ, а также 3,0 и 0,8 балла в стали 20 по максимальному и среднему баллам соответственно). Загрязненность сульфидами и оксидами металла исследованных НЛЗ не превышала 0,5 по максимальному баллу.

Недопустимые дефекты в макроструктуре всех исследованных труб не обнаружены. В макроструктуре труб обеих марок стали, прокатанных с невысокими коэффициентами вытяжки (μ = 2,36; 3,90 и 3,45), наряду с плотными участками, наблюдались расположенные неравномерно по периметру и толщине стенки труб и имеющие различную степень развития зоны с остатками литой структуры (рис. 1). Ширина этих зон на отдельных участках по периметру труб – свыше 50 % толщины стенки трубы (более 5 балла по шкале Приложения А к ТУ 14-3-460).



а)

б)

Рис. 1. Характерная макроструктура котельных горячекатаных труб размерами 219×40 мм из стали 20 (а) и 159×20 мм из стали 12Х1МФ (б), ×1,0

Загрязненность неметаллическими включениями металла труб обеих марок стали всех исследованных размеров удовлетворяла требованиям ТУ 14-3-460 и не превышала по максимальному: 4,0 (силикаты); 2,0 (оксиды) и 0,5 балла (сульфиды).

Микроструктура металла исследованных труб из стали 20 после горячей прокатки феррито-перлитная, неоднородная, преимущественно с неравноосной, осколочной формой зерен (рис. 2а, в, д).

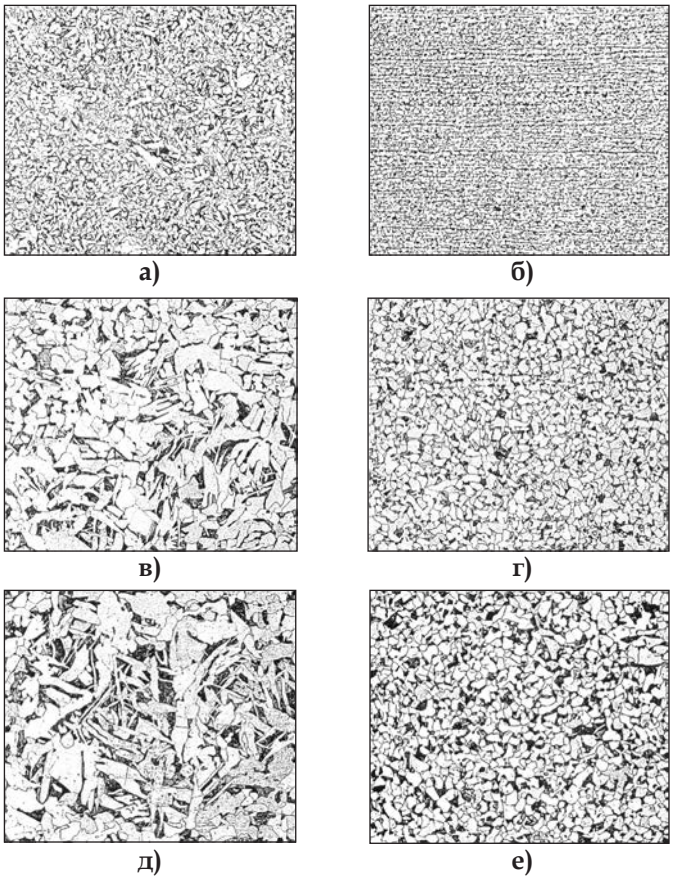


Рис. 2. Характерная микроструктура металла труб из стали 20 размерами 76×6 мм (а, б), 133×13 мм (в, г) и 219×40 мм (д, е) после горячей прокатки (а, в, д) и нормализации (б, г, е), ×100

Микроструктура металла горячекатаных труб размером 76×6 мм из стали 20, прокатанных с достаточно высоким коэффициентом вытяжки (μ = 14,8), в основном, мелкозернистая (величина зерна 9, 8 номеров по ГОСТ 5639), с локальными участками зерен 6, 7 номеров (наследование структуры НЛЗ) (рис. 2а). По нормируемым показателям структура металла этих труб удовлетворяла требованиям ТУ 14-3-460: полосчатость – до 2 балла, ориентация по видманштетту – 1 балла по шкалам 1, 2 соответственно Приложения Б к ТУ 14-3-460.

В металле горячекатаных труб из НЛЗ стали 20 с малым коэффициентом вытяжки (μ = 2,36 и 3,9) выявлена более крупнозернистая структура (величина зерна 6, 7 номеров), с наличием направленных по первичным дендритам участков грубого конгломерата (зерна 4, 5 номера), с ориентацией феррита по видманштетту 3 (размером 133×13 мм) и браковочного 4 баллов (размером 219×40 мм) (рис. 2в, д). Полосчатость структуры указанных горячедеформированных труб – 2 балла.

Нормализация труб из стали 20 измельчила структуру (рис. 2б, г, е), при этом в металле труб, прокатанных с коэффициентом вытяжки менее 4,0, сохранились крупнозернистые участки, наиболее выраженные в трубе размером 219×40 мм. После термообработки микроструктура металла труб стали 20 всех исследованных размеров удовлетворяла требованиям ТУ 14-3-460: полосчатость структуры – до 3 балла, ориентация по видманштетту отсутствует.

Микроструктура металла труб стали 12Х1МФ размерами 159×20 мм (μ = 3,45) и 57×12 мм (μ = 11,3) после термообработки (нормализация с отпуском) соответствует требованиям ТУ 14-3-460:200: состоит из отпущенных феррита, перлита и отдельных зерен бейнита и оценивается 4 баллом по шкалам Приложения В к указанным техническим условиям (рис. 3). Полосчатость структуры – до 2 балла. Микроструктура металла указанных труб мелкозернистая, относительно однородная и отличается преимущественным распределением перлитной составляющей по границам зерен, обусловленным температурным режимом нормализации.

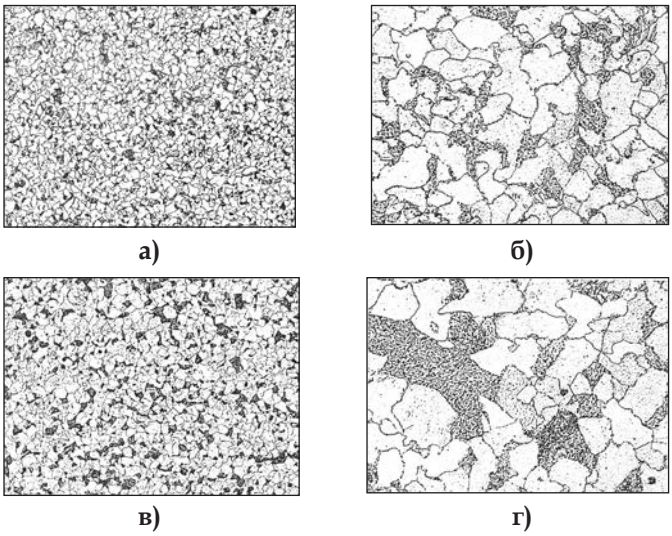


Рис. 3. Характерная микроструктура металла труб стали 12Х1МФ размерами 57×7 мм (а, б) и 159×20 мм (в, г): а, в – ×100; б, г – ×500

Механические свойства при комнатной температуре труб всех исследованных размеров из стали 20 после горячей прокатки и термообработки, в основном, соответствуют нормам ТУ 14-3-460 (таблица), за исключением полученных на отдельных образцах горячекатаной трубы размером 219×40 мм из стали 20 неудовлетворительных результатов испытаний на растяжение (относительное удлинение ниже нормы технических условий).

Металл горячекатаных труб из стали 20, прокатанных с коэффициентом вытяжки 14,8, характеризуется более высокими прочностными свойствами, значения которых несколько снижаются после нормализации. Влияние термической обработки на прочностные характеристи-

Таблица

Механические свойства при комнатной температуре металла труб опытных партий

Размер трубы, D×S, мм (коэффициент вытяжки μ)	Марка стали	Состояние металла	Предел прочности* σ_B, Н/мм^2	Предел текучести* $\sigma_{0,2}$, Н/мм^2	Относительное удлинение* δ_5, %	Относительное сужение* ψ, %	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2
76×6 (14,8)	20	после горячей прокатки	470-506 / 486	327-355 / 343	28,0-30,0 / 28,8	61,0-63,0 / 62,0	198; 190; 180
		после нормализации	440-485 / 462,5	310-335 / 322,5	24,0-28,0 / 26,0	59,0-61,0 / 60,0	175; 171; 173
219×40 (2,36)		после горячей прокатки	451-477 / 469	256-326 / 274	22,0-34,0 / 28,2	61,0-67,0 / 63,1	147; 130; 85
		после нормализации	462-492 / 477	282-300 / 293	28,0-31,0 / 29,7	61,6-67,4 / 65,1	159; 125; 120
133×13 (3,9)		после горячей прокатки	438-470 / 458	260-293 / 277	27,5-36,0 / 31,3	62,0-70,0 / 64,9	152; 160; 165
		после нормализации	476-484 / 481	303-360 / 328	30,0-34,0 / 32,2	62,0-67,0 / 64,0	161; 154; 170
нормы ТУ 14-3-460			412-549	не менее			
				216	24	45	49
57×12 (11,3)	12Х1МФ	после нормализации с отпуском	516-532 / 524	378-405 / 388	28,5-30,0 / 29,4	68,0-70,0 / 69,0	285; 270; 255
159×20 (3,45)		после нормализации с отпуском	506-540 / 525	367-432 / 392	22,0-28,6 / 25,3	75,6-77,9 / 76,6	358; 337; 292
нормы ТУ 14-3-460			441-637	не менее			
				274	21	55	59

Примечание. * – В числителе указаны минимальное и максимальное, в знаменателе – среднее значение характеристики.

ки и пластичность труб из углеродистой стали, прокатанных из непрерывнолитых заготовок с коэффициентом вытяжки менее 4,0, неоднозначно и требует дополнительных исследований.

Значения ударной вязкости при низких температурах, удовлетворяющие нормам Правил Котлонадзора (KCU ≥ 28,3 Дж/см^2; KCV ≥ ≥ 24,5 Дж/см^2), получены после горячей прокатки в трубах из стали 20 размером 219×40 мм при температурах 0 °С, -20 °С (KCU) и 0 °С (KCV), а размером 133×13 мм – 0 °С, -20 °С, -40 °С (KCU) и 0 °С (KCV). Термообработка привела к расширению температурного интервала хладостойкости труб обоих размеров до -60 °С (KCU) и -20 °С (KCV), но не устранила склонность к хрупкому разрушению при отрицательных температурах. Трубы размером 76×6 мм, прокатанные с высоким коэффициентом вытяжки, характеризуются удовлетворительной хладостойкостью при температурах от 0 до -60 °С как в горячекатаном, так и в нормализованном состояниях. Металл этих труб не склонен к хрупкому разрушению до температуры -20 °С.

Влияние коэффициента вытяжки на хладостойкость труб характерно, но в меньшей степени, и для термически обработанных труб из стали 12Х1МФ.

Металл труб размером 57×12 мм характеризуется удовлетворительной хладостойкостью и наличием 50 % и более вязкой составляющей в изломах образцов обоих типов практически до температуры -60 °С. Значения ударной вязкости, соответствующие Правилам Котлонадзора, в трубах размером 159×20 мм из стали 12Х1МФ получены при температурах 0 °С, -20 °С, -40 °С (KCU) и 0 °С, -20 °С (KCV). Эти трубы склонны к хрупкому разрушению практически во всем интервале отрицательных температур.

Отобран металл от опытных труб обеих марок стали для проведения исследований характеристик жаропрочности. Исследования труб, изготовленных по новой экономичной технологии, продолжаются.

Выводы

1. Микроструктура и механические свойства металла изготовленных из НЛЗ на ТПА 50-200 труб стали 20 (после горячей прокатки и нормализации) и 12Х1МФ (после нормализации с отпуском), в основном, удовлетво-

ряют требованиям ТУ 14-3-460, за исключением отдельных труб 219×40 мм из стали 20 в горячекатаном состоянии, где получены неудовлетворительные результаты испытаний на растяжение при комнатной температуре и браковочная структура.

2. Показано, что прокатка на ТПА 50-200 непрерывнолитых заготовок с развитой зоной транскристаллизации при коэффициентах вытяжки 2,36-14,8 не обеспечивает получение однородной структуры по толщине и периметру труб.

3. Установлено влияние коэффициента вытяжки и термической обработки на структуру и свойства котельных горячекатаных труб из НЛЗ, в наибольшей степени проявляющееся в трубах из стали 20.

4. Показано, что котельные трубы, прокатанные на ТПА 50-200 с высокими коэффициентами вытяжки из НЛЗ обеих марок стали, могут выдержать транспортировку, монтаж, прокладку в необогреваемых помещениях и др. при достаточно низких (до -60 °С) температурах.

5. Полученные результаты исследований могут быть использованы при изготовлении котельных труб на ТПА 200 ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» из недеформированной непрерывнолитой заготовки производства ООО «МЗ «Днепросталь».

Библиографический список

1. Опрышко Л. В., Ващило Т. П., Кобус А. А. Внедрение непрерывнолитого металла в промышленное производство котельных труб на ОАО «Производственное объединение «Волжский трубный завод» // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2001. – № 1. – С. 56-60.

2. Опрышко Л. В. Перспективные направления развития технологии производства трубных заготовок и труб для теплоэнергетики // Материалы научно-технической конференции «Металл оборудования ТЭС. Проблемы и перспективы». Москва. – 2006. – С. 44-46.

3. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. – Киев. –1998. – С. 144, 152.

4. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – Киев. – 1998. – С. 328, 336.

Поступила 03.03.2015

METAL JOURNAL
www.metaljournal.com.ua