Л.В. Опрышко, зав. отделением «Материаловедения, экспертизы и технологий производства труб и изделий из черных и цветных металлов и сплавов», зав. лабораторией «Материаловедения и технологий производства труб и изделий для тепловой и атомной энергетики», e-mail: liudmila.opryshko@gmail.com

Т.В. Головняк, зав. сектором «Экспертных исследований металлопродукции из черных и цветных металлов и сплавов», e-mail: tatyana.golovniak@gmail.com

Государственное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности имени Я.Е. Осады» (ГП «НИТИ»), Днепр, Украина

Качество металла котельной трубной заготовки производства ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат»

В статье приводятся результаты выполненных по актуальным стандартам и методикам комплексных исследований качественных показателей металла котельных горячекатаных трубных заготовок, изготовленных ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» из слитков непрерывной разливки стали 20 двух плавок кислородно-конверторной выплавки. Результаты этих исследований позволили оценить способность действующей на этом предприятии технологии производства получать качественную трубную заготовку для изготовления котельных труб, предназначенных для паровых котлов и трубопроводов с высокими и сверхкритическими параметрами пара. Установлено, что действующая на заводе технология выплавки и разливки стали не обеспечивает в полной мере изготовление котельных трубных заготовок в соответствии с требованиями нормативной документации и требует дальнейшего исследования и совершенствования. В макроструктуре металла трубных заготовок выявлены осевая ликвация и светлая полоса (контур), степень развития которых превышала установленные нормы, а также недопустимое точечное загрязнение краевого. Установлено, что наличие в металле заготовки краевого точечного загрязнения, наряду с превышающими нормы неметаллическими включениями, приводит к образованию в металле труб недопустимых расслоений по раскатанным загрязнениям.

Характерная особенность макроструктуры металла исследованных горячекатаных трубных заготовок – наличие остатков литой структуры, которые негативно влияют на формирование требуемой микроструктуры металла изготавливаемых из них котельных труб и соответственно – на их служебные свойства. Показана необходимость увеличения норм отбора проб от котельных горячекатаных непрерывнолитых трубных заготовок производства ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат», а также потребность введения ранее не применяемых в нормативной документации норм по степени развития остатков литой структуры в макроструктуре металла этих заготовок.

Полученные результаты исследований имеют важное научное и практическое значение. Они послужили основой для разработки современных технических условий на котельную горячекатаную трубную заготовку из углеродистой стали производства ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат», а также – для разработки и внедрения на этом предприятии мероприятий по совершенствованию технологии производства котельных трубных заготовок, с учетом требований разработанных технических условий. Это позволит ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» производить качественную конкурентоспособную трубную заготовку и снизит дефицит в Украине котельной трубной заготовки из углеродистой стали.

Ключевые слова: слиток непрерывной разливки, котельная трубная заготовка, макроструктура, осевая ликвация, точечное загрязнение краевого, остатки литой структуры, жаропрочность, технологическая пластичность.

Основными элементами котельного агрегата тепловой электростанции являются трубы по ТУ 14-3-460/ТУ У 27.2-05757883-207 «Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопро-

водов» из различных по химическому составу (степени легирования) сталей. Наибольшая доля (до 60–80 %) приходится на трубы из котельной стали марки 20.

Сложные условия работы котлоагрегатов тепловых электростанций (ТЭС) (высокая температура газов, высокие давление и температура пара, большие напряжения, повышенная коррозия и эрозия металла в течение длительного времени) обуславливают жесткие требования к используемым для их изготовления трубам: по состоянию поверхности, химическому составу, структуре, физико-механическим характеристикам, в том числе служебным свойствам (характеристикам жаропрочности) [1–3].

Требуемый комплекс качественных показателей металла котельных труб и, соответственно, их эксплуатационную надежность в течение расчетного срока службы (не менее 100 тыс. часов) обеспечивают не только параметры технологии изготовления труб (горячее и холодное формоизменение, термическая обработка), но и использование высококачественной трубной заготовки. Для производства котельных труб используют только трубную заготовку, изготавливаемую по специально разработанным и включенным в ТУ 14-3-460/ТУ У 27.2-05757883-207 техническим условиям. В технических условиях на котельную трубную заготовку, в отличие от нормативной документации на заготовку обычного качества, предусмотрены более жесткие требования по качеству поверхности, химическому составу, макроструктуре, загрязненности неметаллическими включениями и др., а самое главное, введены нормы по пределам длительной прочности и текучести при повышенных температурах [4, 5].

В последнее время резко возросла потребность теплоэнергетики Украины в котельных трубах по ТУ 14-3-460/ТУ У 27.2-05757883-207, в том числе из углеродистой стали. Следует отметить, что большинство труб в действующих котлоагрегатах ТЭС (ТЭЦ) исчерпали свой расчетный и парковый ресурс и требуют немедленной замены.

Сложившаяся политическая и экономическая ситуация в Украине, зависимость трубных заводов Украины от российской заготовки и дефицит котельной трубной заготовки потребовали поиска в Украине новых производителей котельной трубной заготовки. Потенциальным производителем такой заготовки является ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» (ПАО «ДМК»), г. Каменское, имеющее техническую возможность для изготовления горячекатаной непрерывнолитой трубной заготовки из углеродистой стали.

Для оценки способности действующей на ПАО «ДМК» технологии производства обеспечивать получение заготовки из углеродистой стали для изготовления котельных труб в полном соответствии с требованиями ТУ 14-3-460/ТУ У 27.2-05757883-207 и разработки современных технических условий на эту заготовку потребовалось проведение исследований качественных показателей металла котельной горячекатаной непрерывнолитой заготовки данного производителя.

Производство на ПАО «ДМК» опытных котельных горячекатаных непрерывнолитых заготовок из стали 20 и исследование их качественных показателей осуществляли с учетом требований разработанной ГП «НИТИ» Технической спецификации (далее – ТС).

Техническая спецификация была разработана на основе современных требований к качеству котельной трубной заготовки, результатов многолетних исследований ГП «НИТИ» и опыта различных заводов по промышленному производству котельных трубных заготовок и труб из них, а также – с учетом особенностей технологии изготовления трубной заготовки на ПАО «ДМК». Указанная ТС послужила основой для разработки в дальнейшем технических условий на котельную трубную заготовку производства ПАО «ДМК» (ТУ У 24.1-05757883-218 «Заготовка трубная катаная для котельных труб»). Исследование характеристик жаропрочности металла заготовок осуществляли на соответствие требованиям указанных технических условий.

Объектом исследования послужили опытные горячекатаные непрерывнолитые заготовки диаметром 130 мм (после механической обработки – диаметром 122 мм) из котельной стали марки 20 кислородно-конверторной выплавки двух плавок (условные номера 1 и 2), а также исходные слитки размером 335×400 мм одной из исследованных плавок (с условным номером 1).

Исследование макроструктуры металла слитков осуществляли на поперечных темплетях, отобранных в начале, середине и конце 1, 2, 3 и 6-го ручьев разливки, а также на продольных темплетях, отрезанных в начале и конце указанных выше ручьев разливки.

Для исследования макроструктуры горячекатаных трубных заготовок обеих плавок были произвольно отобраны поперечные темплеты: от заготовок плавки с условным номером 1, изготовленные из слитков всех четырех указанных выше ручьев разливки, а от заготовок плавки с условным номером 2, соответствующие слиткам 2-го ручья разливки, так как только эти слитки подвергали деформации в трубную заготовку.

Оценку макроструктуры металла слитков проводили в соответствии с требованиями СОУ МПП 77.040-191 «Заготовка непрерывнолитая для производства сортового проката и трубных заготовок. Метод контроля макроструктуры», горячекатаных трубных заготовок – в соответствии с требованиями ГСТУ 3-012 «Шкалы оценки макроструктуры заготовки, прокатанной из непрерывнолитого металла».

Микроструктуру металла исследовали с помощью оптического микроскопа Axiovert 200 MAT до и после травления в реактиве Нитала при 100 и 500 кратных увеличениях. Контроль загрязненности неметаллическими включениями металла трубных заготовок осуществляли методом Ш6 по ГОСТ 1778, величины зерна – по ГОСТ 5369.

Пределы текучести при повышенных температурах (250, 400 и 450 °C) и длительной прочности (при температуре 450 °C за 100 тыс. часов) металла трубных заготовок, нормы которых установлены нормативной документацией на котельную заготовку, определяли на термически обработанных (в лабораторных условиях) образцах. Жаропрочным испытаниям подвергали трубную заготовку плавки с условным номером 1.

Для оценки возможности подвергать трубную заготовку производства ПАО «ДМК» горячей

деформации в процессе трубного передела и определения оптимальной температуры ее нагрева перед прошивкой исследовали технологическую пластичность металла трубной заготовки плавки с условным номером 1 (в состоянии поставки, без термической обработки) путем проведения испытаний на растяжение и горячее скручивание в интервале температур 950–1150 °С и 1100–1250 °С соответственно. Первоначально для проведения испытаний на растяжение и на горячее скручивание был выбран одинаковый температурный интервал (1100–1250 °С), который на основании первых результатов был изменен для испытаний на растяжение в сторону более низких температур.

Испытания на растяжение при повышенных температурах проводили по ГСТУ EN 10002, на длительную прочность – по ГОСТ 10145. Предел длительной прочности металла указанной заготовки за 100 тыс. часов определяли путем линейной экстраполяции логарифмической зависимости времени до разрушения от испытательного напряжения. Испытания на горячее скручивание выполняли в соответствии с требованиями технологической инструкции ГП «НИТИ» № 244-64 «Инструкция по проведению испытаний на горячее скручивание».

Результаты исследований. Химический состав металла исследованных 2-х опытных плавков соответствовал, в основном, требованиям ТС, за исключением массовой доли алюминия, превышающей в 1,4–2,4 раза установленную ТС норму (табл. 1). Ограничение содержания остаточного алюминия (также как и азота) связано с его негативным влиянием на длительную прочность котельной стали [3, 6].

Металл исследованных темплетов, отобранных от слитков, характеризовался неоднородным макрокристаллическим строением, отсутствием по всему сечению четко выраженных кристаллических зон (корковой, столбчатых кристаллов и равноосных кристаллов) (рис. 1). Участки зоны столбчатых кристаллов различной степени развития наблюдались, в основном, вдоль трех сторон прямоугольного сечения (участок максимального развития, как правило, – по месту одного из малых радиусов при разливке). В макроструктуре металла слитков просматривались также участки с хаотично разориентированными столб-

Рис. 1. Характерный вид макроструктуры металла исследованных слитков непрерывной разливки стали 20: а – поперечное; б – продольное сечение, $\times 0,2$

чатыми кристаллами. Зона равноосных кристаллов занимала ~ 30 % площади поперечного сечения слитков. Отмечено смещение теплового центра кристаллизации относительно оси слитков на 5–15 мм (наиболее наглядно проявившееся на продольных темплетях).

Отличительная особенность макроструктуры металла исследованных слитков – наличие ярко выраженной химической неоднородности. На поперечных темплетях выявлена осевая ликвация 3,0 балла в виде скоплений светло и темно травящихся пятен (преимущественно эллипсовидной формы), на продольных темплетях – осевая V-образная ликвация. В макроструктуре поперечных темплетов выявлен также светлый контур, в том числе, в виде двухслойной полосы. Достоверно оценить степень развития светлого контура не представлялось возможным из-за слабого травления периферийных участков, обусловленного сложностью подготовки макротемплетов сечением 335×400 мм.

В макроструктуре металла исследованных слитков выявлены осевая пористость до 4,0 балла; трещины осевой зоны, ликвационные полосы и трещины по сечению, ликвационные полосы и трещины угловые до 3,0 балла, а также – недопустимая для

Таблица 1

Химический состав металла стали 20 исследованных плавков

Условный номер плавки	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P	N ₂	Al
1	0,20	0,24	0,52	0,18	0,036	0,036	0,005	0,013	0,008	0,017
2	0,19	0,21	0,50	0,20	0,037	0,036	0,003	0,015	0,010	0,029
Требования ТС на трубную заготовку	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	не более						
				0,25	0,25	0,30	0,020	0,025	0,012	0,012

котельного металла точечная неоднородность краевая до 2,0 балла (обозначение этого дефекта в других нормативных документах – «краевое точечное загрязнение» или «точечное загрязнение краевое»).

Полученные результаты исследований макроструктуры металла слитков связаны как с особенностями оборудования и технологии кислородно-конверторной выплавки и непрерывной разливки на ПАО «ДМК», так и с нарушениями технологических процессов их производства [7–10].

Выявленные особенности макроструктуры металла исследованных слитков оказали влияние на формирование макроструктуры металла изготовленных из них горячекатаных трубных заготовок. Характерный вид макроструктуры металла исследованных горячекатаных трубных заготовок обеих плавов показан на рис. 2.

Рис. 2. Характерный вид макроструктуры металла исследованных горячекатаных трубных непрерывнолитых заготовок стали 20, $\times 0,4$

В осевой зоне всех исследованных темплетов от заготовок двух плавов выявлена осевая ликвация (реликвация), повторяющая вид и форму этого дефекта в исходном слитке и занимающая площадь ~ 25–30 %. Этот дефект макроструктуры трудно поддавался оценке по шкале Б.2. ГСТУ 3-012 (дефект может быть оценен недопустимым технической спецификацией 4,0 баллом по занимаемой зоне относительно диаметра заготовки, а по своей структуре и виду не подходит под описание 4,0 балла шкалы Б.2.). В макроструктуре металла практически всех проконтролированных темплетов в поверхностной зоне шириной ~ до 10 мм наблюдалась также светлая полоса (контур) различной степени развития (от 1,0 балла до недопустимого технической спецификацией 2,5 балла) в виде 2-х, а в ряде случаев, 3-х (в том числе прерывистых) светлых полос шириной ~ до 7 мм. Степень развития других допустимых ТС дефектов макроструктуры в металле исследованных заготовок (пористость осевая и общая, ликвационные полосы общие, угловые и центральной зоны) не превышала норм технической спецификации. В макроструктуре металла проконтролированных темплетов от заготовок двух плавов выявлено недопустимое ТС точечное загрязнение краевое (1,5 балла). С учетом причин образования этого дефекта и особенностей непрерывной разливки стали не исключена вероятность наличия в металле опытных заготовок точечного загрязнения краевого большей степени развития [7–9].

Рис. 3. Характерные микроструктуры металла изготовленной из трубной заготовки производства ПАО «ДМК» котельной трубы размером 53,0 $\times$ 3,5 мм из стали 20 (после нормализации), $\times 100$ (уменьшено в 1,4 раза)

Исследования показали, что выявленные особенности макрокристаллического строения металла опытных слитков не позволили в процессе горячей прокатки их в трубную заготовку, даже с коэффициентом вытяжки 7,9, в полной мере «проработать» литую структуру. В макроструктуре металла всех исследованных темплетов, отобранных от трубных заготовок обеих плавов, выявлены нерегламентированные в настоящее время нормативной документацией на заготовку остатки литой структуры до 2,0 балла. Наличие остатков литой структуры в металле исходной заготовки не позволяет получить в процессе трубного передела, даже после проведения последующей нормализации с отдельного нагрева, однородную по периметру и толщине стенки микроструктуру металла котельных труб (рис. 3), обеспечивающую их удовлетворительные служебные свойства и способность подвергаться различному формоизменению при изготовлении элементов котлов и трубопроводов [11–15]. Поскольку эта особенность макроструктуры характерна для металла трубной заготовки производства ПАО «ДМК», возникла необходимость введения в нормативную документацию данного производителя контроля наличия остатков литой структуры и разработки норм по степени развития указанного дефекта макроструктуры.

Качество металла исходного слитка оказало влияние и на формирование микроструктуры металла горячекатаных заготовок. Микроструктура металла по сечению заготовок обеих плавов (наружные и промежуточные слои, осевая зона) – феррито-перлитная, с неравномерным распределением структурных составляющих, с развитой структурной полосчатостью и наличием локальных участков с остатками литой структуры, с ориентацией по видманштетту различной степени грубости (рис. 4). Величина аустенитного зерна

Рис. 4. Фрагменты микроструктуры металла исследованных горячекатаных трубных заготовок из котельной стали 20, $\times 100$ (уменьшено в 1,4 раза)

Рис. 5. Раскатанные загрязнения в металле изготовленной из трубной заготовки производства ПАО «ДМК» котельной трубы размером 50,0×5,0 мм из стали 20: а – ×25 (уменьшено в 2 раза); б – ×200 (уменьшено в 1,4 раза)

в металле проконтролированных заготовок обеих исследованных плавов соответствовала 9-му предельно допустимому ТС номеру (получение мелкого зерна нежелательно для удовлетворительной жаропрочности котельной стали [1, 2, 16]).

По загрязненности неметаллическими включениями металл исследованных темплетов от заготовок обеих плавов удовлетворял требованиям ТС. Основные виды неметаллических включений – силикаты недеформирующиеся и силикаты хрупкие (до 3,0 балла), сульфиды (до 2,0 балла) и оксиды точечные (до 1,0 балла). Однако в металле изготовленных из этих заготовок труб были выявлены различной степени грубости недопустимые расслоения по раскатанным загрязнениям исходной трубной заготовки (в том числе, из-за наличия в макроструктуре металла заготовок точечного загрязнения краевого) (рис. 5). Все это указывает на необходимость увеличения норм отбора проб для достоверного контроля качества металла котельных заготовок производства ПАО «ДМК».

Особенности структурного состояния металла исследованной заготовки оказали влияние и на результаты испытаний на длительную прочность. Значение предела длительной прочности металла исследованной трубной заготовки за 100 тыс. часов при температуре 450 °С составило 73 Н/мм² и находилось в интервале допустимого нормативной документацией на котельную трубную заготовку 20%-ного снижения от нормы. При этом длительная пластичность (относительное удлинение разрушенных образцов) при различных испытательных напряжениях находилась в достаточно широком интервале значений: 15,00–47,91 %.

Значения предела текучести при температурах 250, 400 и 450 °С металла исследованной трубной заготовки удовлетворяли нормам разработанных для ПАО «ДМК» технических условий (ТУ У 24.1-05757883-218).

Однако при проведении испытаний на растяжение при более высоких температурах наблюдали

Таблица 2

Результаты высокотемпературных испытаний на растяжение трубной заготовки

№ п/п	Предел прочности, σ_B , Н/мм ²	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Относительное удлинение, δ_5 , %	Относительное сужение, ψ , %
Температура испытания 950 °С				
1	40,1	25,4	81,5	> 90
2	41,2	25,2	83,0	> 90
Температура испытания 1000 °С				
3	35,3	19,2	74,0	> 90
4	34,0	23,5	74,0	> 90
Температура испытания 1025 °С				
5	33,4	15,0	75,5	> 90
6	33,1	15,5	67,5	> 90
Температура испытания 1050 °С				
7	22,3	6,7	65,5	> 90
8	29,2	9,0	63,0	> 90
Температура испытания 1075 °С				
9	25,1	11,3	72,5	> 90
10	25,2	12,9	77,5	> 90
Температура испытания 1100 °С				
11	18,2	5,8	85,0	> 90
12	19,7	6,1	61,0	> 90

значительное падение прочностных свойств и повышенное течение металла заготовки (табл. 2), не характерное для металла котельной трубной заготовки из углеродистой стали традиционных производителей. Значения предела прочности при температуре 1100 °С (нижний предел первоначально выбранного температурного интервала испытаний на растяжение при исследовании технологической пластичности) в 1,5–2,0 раза меньше справочных данных для стали марки 20. Поэтому было принято решение проводить испытания на растяжение при более низких температурах: в интервале 950–1100 °С. Прочностные свойства металла исследованной трубной заготовки при температурах ниже 1100 °С также оказались ниже справочных данных.

Результаты испытаний на горячее скручивание образцов, вырезанных из осевой и периферийной зон трубной заготовки, (кривые зависимости средних значений числа скручиваний и усилий деформирования от температуры испытаний) представлены на рис. 6. Наименьшее усилие деформирования и наибольшее число скручиваний как для осевой, так и промежуточной зоны получено при температуре испытаний 1225 °С. Металл осевой зоны исследованной заготовки характеризовался более низкими пластическими свойствами во всем исследованном интервале температур. Разница в значениях числа скручиваний металла осевой и промежуточной зон заготовки по мере увеличения температуры испытаний практически не менялась. При этом, разница усилий деформирования (скручивания) металла осевой и промежуточной зон уменьшалась по мере увеличения температуры испытаний, и при температурах 1225 и 1250 °С усилия деформирования металла заготовки двух исследованных зон отличались незначительно. При всех испытательных температурах, также как и при высокотемпературных испытаниях на растяжение, наблюдали сильное течение металла образцов трубной заготовки, особенно – при температуре 1200 °С и более.

Выявленные особенности поведения металла исследованной трубной заготовки при проведении исследований технологической пластичности (путем высокотемпературных испытаний на растяжение и горячее скручивание) объясняются структурным состоянием металла заготовки, обусловленным спецификой технологического процесса ее производства на ПАО «ДМК», и требуют дальнейшего исследования.

Выводы

1. Установлена необходимость совершенствования технологии выплавки и непрерывной разливки котельной стали 20 на ПАО «ДМК», а также – проведения дальнейших исследований для получения котельных трубных заготовок и труб высокой эксплуатационной надежности в полном соответствии с требованиями нормативной документации.

2. Результаты исследований качественных показателей металла трубных заготовок, в том числе

Рис. 6. Зависимость средних значений усилий деформирования (скручивания) $P_{ср}$ (а) и числа скручиваний n (б) металла исследованной трубной заготовки от температуры испытания

изготовленных из них труб, позволили разработать современные технические условия на котельную горячекатаную трубную заготовку из углеродистой стали производства ПАО «ДМК» и послужили основой для разработки и внедрения на этом предприятии мероприятий по совершенствованию технологии выплавки и разливки котельной стали.

3. Показана перспективность использования трубной заготовки производства ПАО «ДМК» для изготовления труб ответственного назначения из углеродистой стали, используемых в объектах повышенной опасности Украины.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антикайн П.А. Металлы и расчеты на прочность котлов и трубопроводов. М.: Энергоиздат, 1990. 386 с.
2. Крутасова Е.И. Надежность металла энергетического оборудования. М.: Энергоиздат, 1981. 240 с.
3. Ланская К.А. Жаропрочные стали. М.: Metallurgiya, 1969. 247 с.
4. ТУ 14-1-1529-2003. Заготовка трубная катаная и кованая для котельных труб. Технические условия. [Действуют с 2004-01-01]. М.: ЦНИИчермет, 2003. 32 с.
5. ТУ 14-1-5185-2019. Заготовка трубная из стали марки 20-ПВ, выплавленной на железе прямого восстановления, для котельных труб. Технические условия. [Действуют с 2019-04-01]. М.: ЦНИИчермет, 2019. 11 с.
6. Ланская К.А., Куликова Л.В., Яровой В.В. Микролегирующие и примесные элементы в низколегированной в Cr-Mo-V стали. М.: Metallurgiya, 1989. 176 с.
7. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Смирнов А.Н. Производство стали: в 4 т. М.: Теплотехника, 2009. Т. 4: Непрерывная разливка. 528 с.
8. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Современная технология производства стали. М.: Теплотехника, 2007. 528 с.
9. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Издание второе. Волгоград, 2011. 97 с. URL: http://www.dias-ltd.ru/upload/rd/botnikov_sovremenniy_atlas_defectov.pdf
10. Опришко Л.В. Макроструктура непрерывнолитых заготовок для производства котельных труб. *Металл и литье Украины*. 2012. № 5. С. 15–19.
11. Опришко Л.В., Перепелиця Т.В., Герасименко П.В. Особливості структури та властивостей котельних труб із недеформованої безперервнолитої заготовки вуглецевої сталі. *Металознавство та обробка металів*. 2012. № 4. С. 3–9.
12. Опришко Л.В., Головняк Т.В., Герасименко П.В. та ін. Формування структури котельних гарячекатаних труб у виробництві їх із недеформованих безперервнолитих заготовок. *Металознавство та обробка металів*. 2015. № 1. С. 3–9.
13. Опришко Л.В., Головняк Т.В., Герасименко П.В. та ін. Структура і властивості котельних труб з безперервнолитої заготовки. *Металознавство та обробка металів*. 2016. № 1. С. 54–59.
14. Опришко Л.В., Головняк Т.В., Герасименко П.В. Опыт использования недеформированной непрерывнолитой заготовки при прокатке на ТПА 50-200 котельных труб. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 3. С. 40–44.
15. Опришко Л.В., Головняк Т.В., Полтава И.И. Особенности качественных показателей металла котельных труб, изготовленных из непрерывнолитой заготовки ООО «ДНЕПРОСТАЛЬ». *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2019. № 1–2. С. 46–53.
16. Опришко Л.В., Головняк Т.В. Вплив розміру зерна фериту на характеристики жароміцності котельних труб з вуглецевої сталі. *Металознавство та обробка металів*. 2012. № 3. С. 15–20.

Надійшла 19.08.2019

REFERENCES

1. Antikain, P.A. (1990). Metals and calculation for the strength of boilers and piping. Moscow: Energoizdat, 386 p. [in Russian].
2. Krutasova, E.I. (1981). Reliability of metal power equipment. Moscow: Energoizdat, 240 p. [in Russian].
3. Lanskaia, K.A. (1969). Heat resistance steel. Moscow: Metallurgiya, 247 p. [in Russian].
4. Rolled and forged billets for boiler tubes. Technical specification. (2003). TU 14-1-1529-2003 from 01 January 2004. Moscow: TsNIIchermet, 32 p. [in Russian].
5. Billets of 20-PV steel smelted from directreduced iron for boiler tubes. Technical specification. (2019). TU 14-1-5185-2019 from 01 April 2019. Moscow: TsNIIchermet, 11 p. [in Russian].
6. Lanskaia, K.A., Kulikova, L.V., Yarovoi, V.V. (1989). Microalloying and impurity elements in low alloy Cr-Mo-V steel. Moscow: Metallurgiya, 176 p. [in Russian].
7. Dyudkin, D.A., Kisilenko, V.V., Smirnov, A.N. (2009). Steel production. Continuous casting. Vol. 4. Moscow: Teplotekhnika, 528 p. [in Russian].
8. Dyudkin, D.A., Kisilenko, V.V. (2007). Modern steel production technology. Moscow: Teplotekhnika, 528 p. [in Russian].
9. Botnikov, S.A. (2011). Modern atlas of defects in continuous casting and causes of breakouts of crystallizing crust of metal. Second edition. Volgograd, 97 p. URL: http://www.diasltd.ru/upload/rd/botnikov_sovremenniy_atlas_defectov.pdf [in Russian].

10. Opryshko, L.V. (2012). Macrostructure in the continuously cast billets in making of boiler tubes. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 5, pp. 15–19 [in Russian].
11. Opryshko, L.V., Perepelytsia, T.V., Gerasimenko, P.V. (2012). Features of structure and properties of hot-rolled tubes produced from non-deformed continuously cast billets of carbon steel. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. Metal science & Treatment of metals*, no. 4, pp. 3–9 [in Ukrainian].
12. Opryshko, L.V., Golovniak, T.V., Gerasimenko, P.V. et al. (2015). Structure formation in hot-rolled boiler tubes during their production from non-deformed continuously cast billets. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. Metal science & Treatment of metals*, no. 1, pp. 3–9 [in Ukrainian].
13. Opryshko, L.V., Golovniak, T.V., Gerasimenko P.V. et al. (2016). Structure and properties of hot-rolled boiler tubes made from continuously cast billets. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. Metal science & Treatment of metals*, no. 1, pp. 54–59 [in Ukrainian].
14. Opryshko, L.V., Golovniak, T.V., Gerasimenko, P.V. (2015). Experience of usage of unstrained continuously cast section while rolling on pipe-rolling plant 50-200 of boiler tubes. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. Metallurgical and Mining Industry*, no. 3, pp. 40–44 [in Russian].
15. Opryshko, L.V., Golovniak, T.V., Poltava, I.I. (2019). Features of quality indicators of metal of boiler tubes rolled from continuously cast billets produced by Dniprostal Metallurgical Works LLC. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. Metallurgical and Mining Industry*, no. 1–2, pp. 46–53 [in Russian].
16. Opryshko, L.V., Golovniak, T.V. (2012). Influence of ferrite grain size on heart resistance characteristics of carbon steel boiler tubes. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. Metal science & Treatment of metals*, no. 3, pp. 15–20 [in Ukrainian].

Received 19.08.2019

Анотація

Л.В. Опришко, зав. відділенням «Матеріалознавства, експертизи та технології виробництва труб та виробів з чорних і кольорових металів і сплавів», зав. лабораторією «Матеріалознавства та технології виробництва труб та виробів для теплової і атомної енергетики»,
e-mail: liudmila.opryshko@gmail.com
Т.В. Головняк, зав. сектором «Експертних досліджень металопродукції з чорних і кольорових металів і сплавів», e-mail: tatyana.golovniak@gmail.com

Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я.Ю. Осади» (ДП «НДТІ»), Дніпро, Україна

Якість металу котельної трубної заготовки виробництва ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»

В статті наведено результати виконаних за актуальними стандартами і методиками комплексних досліджень якісних показників металу котельних гарячекатаних трубних заготовок, що виготовлені ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» із злитків безперервного розливання сталі 20 двох плавов киснево-конверторної виплавки. Результати цих досліджень дозволили оцінити спроможність діючої на цьому підприємстві технології отримувати якісну трубну заготовку для виготовлення котельних труб, що призначені для парових котлів та трубопроводів з високими і надкритичними параметрами пару. Встановлено, що діюча на заводі технологія виплавки та розливання сталі повністю не забезпечує виготовлення котельних трубних заготовок в відповідності з вимогами нормативної документації та потребує подальшого дослідження і вдосконалення. В макроструктурі металу трубних заготовок виявлено осьову ліквіацію та світлу смужку (контур), ступень розвитку яких перевищувала встановлені норми, а також неприпустиме точкове забруднення крайове. Встановлено, що наявність в металі заготовки точкового забруднення крайового, поряд з неметалевими включеннями, що перевищують норми, призводять до утворення в металі труб неприпустимих розшарувань по розкатаним забрудненням.

Характерна особливість макроструктури металу досліджених гарячекатаних трубних заготовок – наявність залишків литої структури, які негативно впливають на формування необхідної мікроструктури металу труб, що виготовляють з цих заготовок, та відповідно – на їх службові властивості. Показано необхідність збільшення норм відбору проб від котельних гарячекатаних трубних заготовок виробництва ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», а також потребу введення раніше не використовуваних в нормативній документації норм зі ступеня розвитку залишків литої структури в макроструктурі металу заготовок.

Отримані результати досліджень мають важливе наукове та практичне значення. Вони послужили основою для розробки сучасних технічних умов на котельну гарячекатану трубну заготовку із вуглецевої сталі виробництва ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», а також – для розробки та впровадження на цьому підприємстві заходів з вдосконалення

технології виробництва котельних трубних заготовок, з урахуванням вимог розроблених технічних умов. Це дозволить ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» виготовляти якісну конкурентоздатну трубну заготовку та знизить дефіцит в Україні котельної трубної заготовки із вуглецевої сталі.

Ключові слова

Злиток безперервного розливання, котельна трубна заготовка, макроструктура, осьова ліквіація, точкове забруднення крайове, залишки литої структури, жароміцність, технологічна пластичність.

Summary

L.V. Opryshko, Head of the Department for Materials Science, Expertise and Technologies for the Production of Tubes and Products from Ferrous and Non-Ferrous Metals and Alloys, Head of the Laboratory for Materials Science and Technologies for the Production of Tubes and Products for Thermal and Nuclear Power Engineering, e-mail: liudmila.opryshko@gmail.com
T.V. Golovniak, Head of the Sector for Expert Studies of Metal Products from Ferrous and Non-ferrous Metals and Alloys, e-mail: tatyana.golovnyak@gmail.com

State Enterprise "Ya. Ye. Osada Scientific Research Tube Institute" (State Enterprise "SRTI"), Dnipro, Ukraine

Quality of metal of the boiler tube billets manufactured by PJSC "Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works"

The article presents results of comprehensive studies of qualitative indicators of metal of the hot-rolled tube billets manufactured by PJSC "Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works" from continuously cast ingots of '20' steel grade taken from 2 heats of oxygen-converter smelting. The studies were performed according to current standards and methods. The results of these studies have made it possible to assess ability of the production technology used at this enterprise to produce high-quality tube billets for the manufacture of boiler tubes designed for steam boilers and pipelines operating at high and supercritical steam parameters. It has been established, that the current steelmaking and casting technology used at the Works does not fully ensure the manufacture of boiler tube billets in accordance with requirements of regulatory documents and requires further study and improvement. Axial segregation and a light band (contour) were revealed in the macrostructure of metal of the tube billets the degree of development of which exceeded the established norms, as well as unacceptable edge point pollution. It was established that presence of the edge point pollution along with non-metallic inclusions in the billet metal exceeding the established norms result in formation of unacceptable laminations in locations of the contaminants expanded by rolling the tube metal.

Metal macrostructure of the hot-rolled tube billets under study features presence of cast structure residues negatively affecting formation of the proper microstructure of metal of the boiler tubes manufactured from these billets and, accordingly, the tube service properties. The necessity of increasing norms of sampling from hot-rolled continuously cast tube billets manufactured by PJSC "Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works" as well as the necessity of introducing requirements to the degree of development of the cast structure residues observed in the metal macrostructure of these billets previously not used in regulatory documents were shown.

The obtained study results are of great scientific and practical value. They have served as a basis for development of a modern Technical Specification for hot-rolled carbon steel boiler tube billets manufactured by PJSC "Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works" as well as for working out and implementation of measures to improve the technology of production of boiler tube billets at this enterprise taking into account requirements of the developed Technical Specification. This will allow PJSC "Dneprovsky Iron & Steel Integrated Works" to produce competitive high-quality tube billets and reduce shortage of the carbon steel tube billets in Ukraine.

Keywords

Continuously cast billet, boiler tube billet, macrostructure, axial segregation, point edge pollution, residues of cast structure, heat resistance, processing plasticity.