

Получение высококачественных труб из металла газокислородного рафинирования

Для обеспечения производственного цикла в атомной и тепловой энергетике, химической и пищевой промышленности, а также других отраслях требуются значительные объемы труб широкого сортамента из высоколегированных марок коррозионностойкой стали. При этом долговечность трубопроводов и трубных систем во многом зависит от качества исходного металла. Опыт показывает, что большим ресурсом технологической пластичности и эксплуатационной надежности обладают материалы с пониженным содержанием включений и вредных примесей, однородной стабильной структурой, высоким комплексом прочностных и пластических свойств, которые формируются по всему технологическому циклу. Особое значение приобретают задачи обеспечения качественной заготовки с оптимальным выбором способа выплавки или внепечной обработки.

Традиционными способами получения коррозионностойких высоколегированных сталей для выше обозначенных отраслей в СНГ остаются открытая выплавка в электропечах, вакуумно-индукционная и плазменно-дуговая плавка, электрошлаковый и вакуумно-дуговой переплав.

В своем большинстве указанные способы предполагают либо значительные дополнительные энергозатраты, либо ориентированы на многотоннажные плавки. Последнее не позволяет мобильно решать вопросы обеспечения прецизионными сплавами с вы-

сокой жаропрочностью и коррозионной стойкостью, потребность в которых, как правило, не бывает высокой.

Рассмотрены и детально проанализированы методы внепечной обработки способом газокислородного рафинирования, как способа получения продукции высокого качества

сокой жаропрочностью и коррозионной стойкостью, потребность в которых, как правило, не бывает высокой. На основании всего вышеизложенного в Украине разработан метод внепечной обработки способом газокислородного рафинирования (ГКР) в емкостях 1; 5 и 60 т [1], который также помогает эффективно решать вопросы качества готовой продукции.

Целью настоящей работы является обобщение результатов, связанных с получением труб из металла ГКР. Материалом исследований служили трубная заготовка и трубы из стали 08X18H10T и 03X17H14M2 (табл. 1), имеющие широкое применение на энергогенерирующих и химических предприятиях.

Известно, что одной из основных задач повышения коррозионной стойкости изделий и оборудования из высоколегированных сталей является снижение содержания углерода и неметаллических включений [2]. Это выгодно отличает металл ГКР от других аналогов и позволяет достичь концентраций углерода $\leq 0,02\%$ для хромо-никелевых сталей и $\leq 0,01\%$ – для низколегированных сталей.

В отличие от металла, выплавленного в открытой электропечи в 1,5-2,0 раза снижается количество вредных примесей и неметаллических включений (рис. 1). При этом, как показал анализ, их содержание в стали 08X18H10T после ГКР составляет (в скобках для сравнения приведены

данные по металлу открытой электроплавки): $\leq 0,5$ балла оксидов (0,5-2,0), $\leq 0,5$ балла сульфидов (0,5-4,5), 0,02-0,06 % углерода (0,06-0,08), 0,003-0,010 % серы (0,012-0,018), 0,022-0,028 % фосфора (0,022-0,034).

Особо следует отметить положительный эффект, который дает исследуемый метод по десульфурации. Растворимость серы в металлической матрице обычно составляет $\leq 0,003\%$ [3]. При более высоких концентрациях, являясь сильно лик-

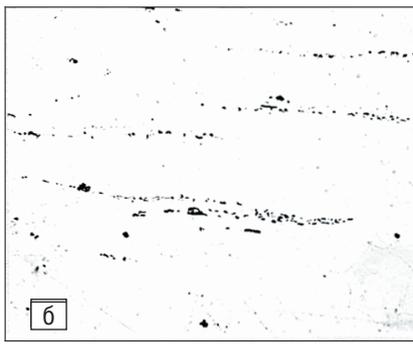
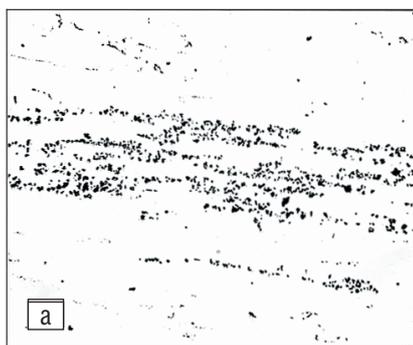


Рис. 1. Неметаллические включения в трубной заготовке стали 08X18H10T после открытой выплавки в электропечи (а) и после ГКР (б), $\times 100$

Таблица 1

Химический состав исследованных трубных заготовок из стали ГКР, %мас

Сталь	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Mo	Fe
08X18H10T	0,04	0,37	0,87	0,010	0,023	17,73	10,72	0,5	-	осн.
08X18H10T	0,04	0,57	0,75	0,010	0,027	17,77	10,10	0,45	-	осн.
ГОСТ 5632 (для 08X18H10T)	$\leq 0,08$	$\leq 0,08$	$\leq 1,5$	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	17-19	9-11	5·C-0,7	-	осн.
03X17H14M2	0,013	0,18	0,79	0,0085	0,017	17,8	13,8	-	2,29	осн.
ГОСТ 5632 (для 03X17H14M2)	$\leq 0,030$	$\leq 0,4$	1,0-2,0	$\leq 0,020$	$\leq 0,035$	16,8-18,3	13,5-15,0	-	2,2-2,8	осн.

Таблица 2

Химический состав по сечению слитка ГKP массой 3,5 т из стали 08X18H10T, %мас

Место отбора проб	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti
наружная поверхность	0,038	0,59	0,79	0,008	0,025	17,49	10,06	0,60
переходная зона	0,038	0,53	0,73	0,008	0,024	17,49	10,09	0,53
центр	0,038	0,56	0,76	0,013	0,029	18,35	10,92	0,52

Таблица 3

Качественные показатели труб из коррозионностойкой высоколегированной стали ГKP

Марка стали	Размер (диаметрхстенка), мм	% C	% S	Механические свойства		Величина зерна, №	МКК
				σ_b , Н/мм ²	δ_5 , %		
08X18H10T	325x16	0,04	0,010	568-578	65-69	7-8	Стойкие
	325x16	0,04	0,010	568-578	79	6-7	-«-
	159x6	0,05	0,005	549-559	50-51	-	-«-
	76x6	0,06	0,003	539-559	46-48	-	-«-
03X17H14M2	78x8	0,013	0,0085	568-575	60-63	-	-«-
	32x6	0,013	0,0085	539-549	58-59	7-8	-«-
	12x1	0,013	0,0085	573-598	48,5-53	9-10	-«-

вирующим элементом, сера оказывает отрицательное охрупчивающее влияние путем загрязнения границ зерен сульфидной фазой, что особенно актуально для исследуемых сталей, которые эксплуатируются в условиях коррозионно-агрессивных сред, повышенных температур и механических нагрузок.

Высоколегированные стали также склонны к ликвационной неоднородности по углероду, титану, молибдену, хрому и никелю, которая ведет к неравномерности структуры и свойств, разнотерности в изделиях. В работах [4] показано, что химическая и структурная неоднородности наследуются от трубной заготовки и негативно влияет на качество труб. Поэтому важно добиваться гомогенности металла на стадии слитка. По данным, приведенным в табл. 3, можно сделать вывод о пониженном уровне макроликвации в слитке ГKP из стали 08X18H10T.

Наличие аргона в составе дутья обеспечивает интенсивное протекание в конвертерной ванне массообменных процессов, что, в свою очередь, позволяет

корректировать состав стали, легированной даже труднорастворимыми элементами, как, например, молибден или ниобий.

Результаты масштабных экспериментов, выполненных в промышленных и полупромышленных условиях заводов Украины, которые включали стадии от получения заготовки до готовых труб, показали целесообразность использования стали ГKP для производства труб специального назначения, в частности, соответствующих требованиям ТУ 14-3-197-89 и ТУ 14-3-197р-2001 с грифом «для АЭС». Изготовлены трубы различных видоразмеров из стали 08X18H10T и 03X17H14M2 (табл. 3) с высоким комплексом прочностных и пластических свойств, однородной структурой в полностью рекристаллизованном состоянии (рис. 2), стойкие к межкристаллической коррозии (МКК). На высокий уровень качества труб во многом положительно повлияло снижение включений и вредных примесей. За рубежом давно успешно используется металл, полученный способом АОД (аналог ГKP) для изготовления труб ответственного назначения,

например, для активной зоны ядерных реакторов на быстрых нейтронах [5].

В связи с имеющимся положительным опытом рекомендовано расширять использование металла ГKP для получения высококачественных труб из высоколегированных коррозионностойких и жаропрочных марок стали и сплавов, в частности, для атомной и тепловой энергетики, авиации, пищевой и химической промышленности, а также других отраслей с внесением в отечественную нормативную документацию (технические условия) на трубы.

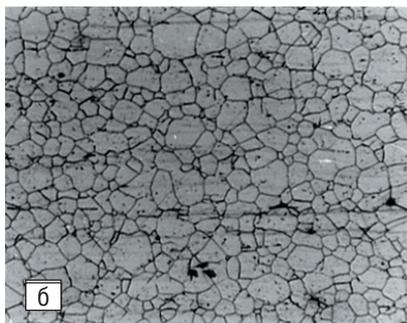
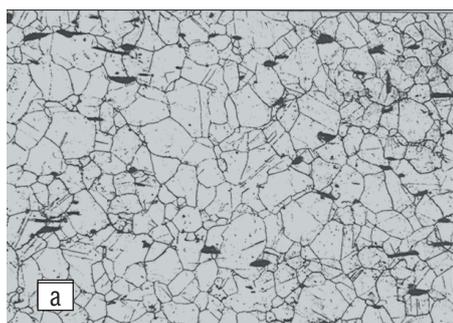
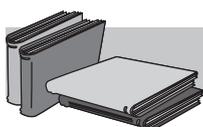


Рис. 2. Микроструктура труб из металла ГKP, $\times 100$: (а) – труба $\varnothing 325 \times 16$ мм, сталь 08X18H10T; (б) – труба $\varnothing 32 \times 6$ мм, сталь 03X17H14M2



ЛИТЕРАТУРА

1. Садовник Ю. В., Рабинович А. В., Нефедов Ю. А. Новое направление внепечного рафинирования в литейном производстве // *Материалы Междунар. конф. «Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра»*. Киев, 2002. – С. 295-297.
2. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1991. – 256 с.
3. Лунев В. В., Аверин В. В. Сера и фосфор в стали. – М.: Металлургия, 1988. – 257 с.
4. Буряк Т. Н., Вахрушева В. С., Лезинская Е. Я. Формирование структуры и свойств в горячедеформированных трубах из коррозионностойкой стали для энергомашиностроения // *Металлургическая и горнорудная пром-сть*. – 2003. – № 1. – С. 60-63.
5. Сесарелли М., Сантучи Р., Бенанни А. Механические свойства коррозионностойкой стали 316L с добавками бора и азота при высоких температурах // *Высокотемпературные механические свойства коррозионностойкой стали для атомной техники*. – М.: Металлургия, 1987. – С. 78-83.