



УДК 669.018.28.04

Наука

Рабинович А.В. /д.т.н./, Трегубенко Г.Н.
/д.т.н./, Поляков Г.А., Катрич А.А.**Фельдман А.И.** /к.т.н./, Хейфец Р.Г. /д.т.н./,
Юрковский В.В.
НПО «Трубосталь»

НМетАУ

Пучиков А.В.

ИЧМ НАНУ

Исследование влияния карбонитридного упрочнения и термообработки на структуру и свойства центробежнолитых труб из электростали 10ХСНД

Исследовано влияние карбонитридного упрочнения и термической обработки на структуру и механические свойства металла центробежнолитых труб из стали 10ХСНД. Установлено, что комплексное микролегирование титаном, алюминием и азотом в сочетании с термической обработкой обеспечивает существенное улучшение однородности зеренной структуры, измельчение зерна, повышение уровня механических свойств, в том числе при низких температурах Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: карбонитридное упрочнение, механические свойства, термическая обработка, термоциклирование, микролегирование, центробежное литье, трубы

The influence of carbonitride hardening and thermal treatment on structure and mechanical properties of metal of centrifugally cast pipes made of steel 10ХСНД (10CrSiNiCu) is investigated. It is established, that complex microalloying with titan, aluminum and nitrogen combined with thermal treatment provides substantial improvement of grain structures, grain refinement, increase of level of mechanical properties, including their data at low temperatures.

Keywords: carbonitride hardening, mechanical properties, thermal treatment, temperature cycling, microalloying, centrifugal casting, pipes.

Постановка проблемы в общем виде

К трубам из стали 10ХСНД предъявляются высокие требования по уровню механических свойств [1, 2], в том числе при низких температурах, связанные с использованием труб из этой и аналогичных сталей в строительных конструкциях [3].

Задачей освоения промышленного производства центробежнолитых труб из стали 10ХСНД было найти технологические параметры и приемы, обеспечивающие достижение такого же уровня механических свойств, какой предъявляется к трубам, полученным горячей деформацией.

Анализ последних исследований и публикаций

Исследования проводили в производственных условиях НПО «Трубосталь», сталь выплавляли в электродуговых печах ДСП-5, отливку труб диаметром 299-686 мм с толщиной стенки 16-80 мм производили на горизонтальных роликовых центробежных машинах.

Представленный в табл. 1 химический состав центробежнолитых труб из стали 10ХСНД по маркировочным пробам свидетельствует о полном соответствии требованиям нормативной документации к этой стали.

В табл. 2 механические свойства, достигнутые на центробежнолитых трубах из стали 10ХСНД в литом состоянии и после термической обработки (нормализация), даны в сравнении с нормативными требованиями.

Выделение не решенной раньше части общей проблемы

Выделение не решенной раньше части общей проблемы

Центробежнолитой металл без термической обработки по всем показателям, особенно ударной вязкости, существенно уступает нормативным требованиям к стали 10ХСНД в деформированном состоянии. Это связано с крупнозернистой структурой в отливке после кристаллизации и с тем, что междендритные объемы металла, кристаллизуясь последними, содержат повышенное количество сульфидов, фосфидов и неметаллических включений, ослабляющих связь между кристаллитами.

Термическая обработка (варианты нормализации и отпуска, см. табл.2) в результате фазовой перекристаллизации формирует вторичную зеренную структуру, ослабляющую отрицательное влияние первичного литого зерна на механические свойства и, как следствие, повышает уровень механических характеристик стали 10ХСНД. Однако широкий диапазон разброса значений, включающих и показатели ниже требуемых, и неудовлетворительная ударная вязкость при отрицательной температуре потребовали поиска вариантов, которые могли бы обеспечить стабильный и более высокий уровень механических свойств металла труб.

© Рабинович А.В., Трегубенко Г.Н., Поляков Г.А., Катрич А.А., Пучиков А.В., Фельдман А.И., Хейфец Р.Г., Юрковский В.В., 2013 г.

Постановка задачи

С целью разработки эффективной технологии обеспечения таких требований к механическим характеристикам центробежнолитых труб из стали 10ХСНД изучали влияние микролегирования титаном, алюминием и азотом (карбонитридное упрочнение, КНУ) в сочетании с термической обработкой на формирование структуры и свойств металла труб.

Изложение основного материала исследования

Известно [4], что при микролегировании углеродистой или низколегированной стали титаном и алюминием первый определяет уровень растворимости азота в жидком металле и формирование карбонитридных включений в расплаве, а также, выполняя функцию инокулятора, выступает в качестве регулятора величины первичного литого зерна. Нитриды алюминия, которые формируются в твердом металле, являются ответственными за зеренную структуру стали после нагрева под термическую обработку.

Таблица 1. Химический состав исследованных центробежнолитых труб и по ГОСТ 19281-89 [1]

Объект	Содержание элементов, % масс.							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
Центробежнолитые трубы	0,06-0,08	0,57-0,80	0,80-1,01	0,70-0,90	0,50-0,62	0,40-0,60	0,016-0,035	0,020-0,028
ГОСТ 19281-89	≤ 0,12	0,50-0,80	0,80-1,10	0,60-0,90	0,50-0,80	0,40-0,60	≤ 0,040	≤ 0,035

Таблица 2. Механические свойства центробежнолитых труб из стали 10ХСНД в литом состоянии и после термической обработки

Состояние	Механические свойства на разрыв			Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	при +20 °С	при -40 °С
Без термообработки	497-510	329-333	10,4-21,0	4,4-6,4	6,0-9,0
Нормализация 900-930 °С, 1-3 ч, без отпуска и отпуск 670 °С, 1-3 ч	477-552	321-402	10,0-30,0	7,6-221	6-12
Требуемый уровень показателей	510-670	390-495	≥19	≥29	

Исследовали следующие технологические варианты:

- центробежная отливка с КНУ(1), позволяет реализовать идею измельчения первичного литого зерна под воздействием карбонитридов титана;
- (1) + нормализация, позволяет измельчить вторичное зерно за счет нитридов алюминия;
- (1) + термоциклирование (трехкратная нормализация), должно усиливать эффект измельчения зерна за счет многократной рекристаллизации.

Режимы термической обработки представлены на рис. 1.

Механические свойства металла труб после различных вариантов обработки представлены в табл. 3.

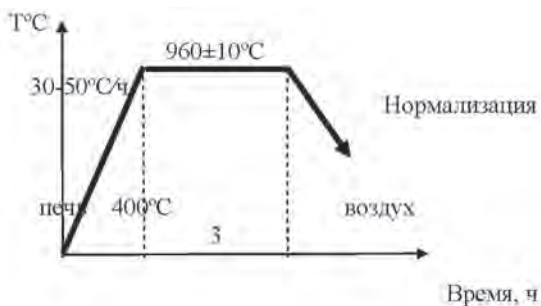
Видно, что центробежнолитой металл с карбонитридным упрочнением, но без термической обработки, имеет удовлетворительные показатели только по временному сопротивлению разрыву σ_B , все остальные характеристики ниже ($\sigma_{0,2}$) или существенно ниже (δ_5 , КСУ) в сравнении с нормативными требованиями.

Нормализация труб, практически не изменяя уровень прочностных характеристик σ_B , $\sigma_{0,2}$, достигнутых благодаря микролегированию титаном, алюминием и азотом, значительно повышает пластичность δ_5 и ударную вязкость КСУ, но при низких температурах значения ударной вязкости еще недостаточно высоки и недостаточно стабильны.

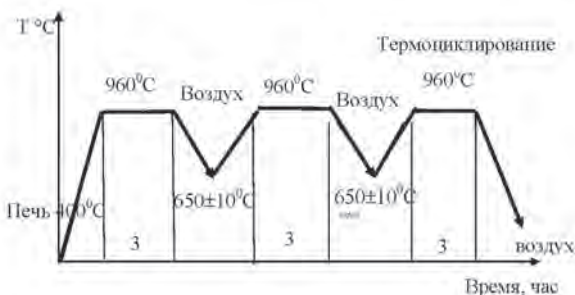
Желаемого результата удалось достичь лишь в сочетании карбонитридного упрочнения и термоциклирования. Объяснение этому - эффект измельчения

литого зерна, обеспеченный за счет КНУ, был усилен 3-х кратной фазовой перекристаллизацией при термоциклировании. Достигнутые показатели прочности, пластичности, сопротивления хрупкому разрушению, в том числе при низких температурах, соответствуют требованиям нормативных документов. Отмечено практически полное отсутствие разницы в свойствах металла от переднего и от заднего концов труб. Микроструктуру образцов, вырезанных из труб, исследовали на микроскопе «Neophot 101-32» при увеличении x100, x400, x1000, количественный анализ микроструктуры выполняли на приборе «Eriquant». Типичные микроструктуры центробежнолитых труб из стали 10ХСНД с КНУ и термоциклированием представлены на рис. 2б. Здесь же для сравнения приведена структура труб, подвергнутых термоциклированию, но без КНУ, рис. 2а.

В стали без карбонитридного упрочнения величина ферритного зерна соответствует 6, 7 и 8 баллам по шкалам ГОСТ 5639-82 [5]. При этом количество зерен 7-го и 8-го баллов практически одинаково и составляет по 40 % отн., 6-го около 10 %. Встречаются участки, в которых величина зерна достигает 5-го и даже 4-го баллов, но площадь этих участков не превышает 10 % отн. По границам ферритных зерен в виде «цепочек» и отдельных частиц наблюдаются выделения второй фазы - мелких включений перлита, которые

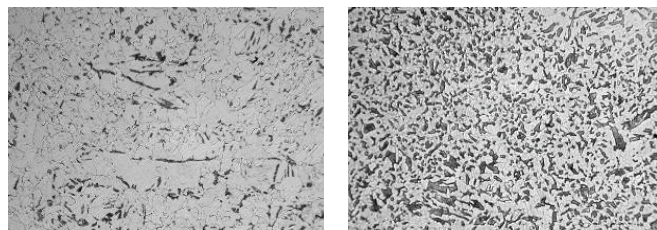


а

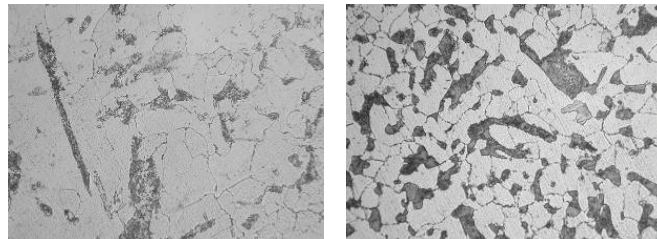


б

Рис. 1. Режимы термической обработки центробежнолитых труб из стали 10ХСНД: а – нормализация; б - термоциклирование



x 100



x 400

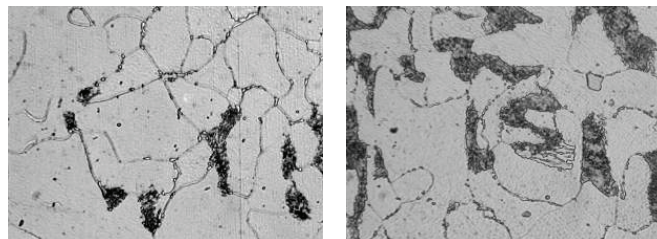


Рис. 2 а б
термоциклирование без КНУ КНУ + термоциклирование

Таблица 3. Механические свойства металла центробежно-литых труб из стали 10ХСНД после различных вариантов обработки

Состояние	Механические свойства на разрыв			Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²		
	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	при +20 °С	при -40 °С	при +20 °С после мех. старения*
С КНУ без термообработки	535-562	354-372	6,0-8,7	6,0-10,0	4,0-6,0	-
КНУ и нормализация	510-523	351-361	15,0-17,0	88-92	14-25	26-44
КНУ и термоциклирование	573-576	386-430	19,0-21,0	47-70	38-73	52-70
Требуемый уровень показателей	510-670	390-495	≥19	≥29		

Примечание: * - испытания металла строительных и мостовых конструкций проводятся в соответствии с ГОСТ 7268-82 «Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб». Образцы для испытаний на ударный изгиб, изготовленные из предварительно деформированной растяжением на 10 % заготовки, подвергаются нагреву (искусственному старению) при температуре 250 °С, 1 ч

имеют пластинообразную или стрелообразную форму. Наблюдается выраженная ориентация перлита в виде полос и остроугольных V-образных фигур.

Достаточно крупные ферритные зерна в сочетании с существенной разноразмерностью, неблаго-

приятная форма и ориентация перлита, обуславливающие «грубыми» прослойками границы зерен определяют относительно низкий уровень свойств термообработанной центробежнолитой стали 10ХСНД без карбонитридного упрочнения.

Основным отличием структуры стали с КНУ является выделение карбонитридов титана. Более благоприятная структура основы, наличие карбонитридов титана и алюминия (последние наблюдаются лишь при увеличении электронной микроскопии) обеспечили существенное повышение свойств.

Оценка величины ферритного зерна металла с КНУ и термоциклированием показала, что наружная поверхность и середина трубы характеризуются зерном 9-8 балла. К внутренней поверхности трубы появляется незначительное, до 10 %, количество зерен 7-го балла.

По границам ферритных зерен наружного слоя металла наблюдаются выделения в виде «цепочек» очень тонких перлитных прослоек. В самом зерне много мелких выделений округлой и вытянутой формы. К середине трубы и во внутренних слоях количество выделений по границам и внутри зерен уменьшается. Выделения перлита наружных и срединных слоев мелкие и равноосные. Встречаются участки с перлитом, вытянутым вдоль ферритных зерен. К внутренней поверхности разноразмерность перлита увеличивается.

По всему сечению стенки трубы наблюдаются единичные зерна с игольчатой бейнитной структурой, что подтверждает сложную схему кристаллизации

стали 10ХСНД, которая, несмотря на низкую среднюю концентрацию углерода, определяет образование промежуточных относительно высокоуглеродистых комплексов.

Таким образом, анализ микроструктуры свидетельствует о том, что в центробежнолитых трубах из стали 10ХСНД с карбонитридным упрочнением, подвергнутых нормализации с 3-х кратной перекристаллизацией (термоциклирование), наблюдается существенное измельчение ферритного зерна и перлитных колоний, увеличение количества перлита и его более равномерное распределение, что, естественно, обеспечивает общее повышение характеристик механических свойств при нормальной и низкой температуре.

Вывод

Показано, что для достижения на центробежнолитых трубах из стали 10ХСНД показателей механических свойств при нормальной и, особенно, при низкой температуре, предъявляемых к деформированному металлу этой стали, недостаточно подвергнуть сталь карбонитридному упрочнению или термической обработке – необходимо сочетание этих двух воздействий с подбором оптимального режима термической обработки.

На основании результатов опытно-промышленных экспериментов разработана нормативная до-

кументация на выплавку и центробежную разливку стали 10ХСНД с карбонитридным упрочнением. Произведена и принята заказчиком промышленная партия центробежнолитых труб различных размеров из стали 10ХСНД с карбонитридным упрочнением и термоциклической термообработкой.

Библиографический список

1. ГОСТ 19281-89. Прокат из стали повышенной прочности.
2. ГОСТ 6713-91. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения.
3. Кузнецов А.Ф. Строительные конструкции из сталей повышенной и высокой прочности. - М.: Стройиздат, 1975. - 78 с.
4. Теоретические основы и технология оптимального микролегирования электростали азотом, титаном и алюминием / А.В. Рабинович, Г.Н. Трегубенко, М.И. Тарасьев и др. // Зб. наук. пр. «Сучасні проблеми металургії». - Т. 7. - Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. - С. 97-107.
5. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.

Поступила 03.04.2013

УДК 669.432/436

Игнатъев В.С. /к.т.н./
НМетАУ

Наука

Коротеев Е.С., Высоцкий Е.В.,
Денисенко Д.В.
ООО «РЕКС»

Разработка технологии содовосстановительной плавки свинцовой хлоридной пыли

Разработан пирометаллургический способ переработки хлоридной свинцовой пыли путем содовосстановительной плавки в короткобаранной печи. Установлены оптимальные параметры и материальный баланс процесса. Приведены результаты промышленного опробования процесса в условиях ООО «Укрсплав». Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: свинцовая хлоридная пыль, содовосстановительная плавка, короткобаранная печь

Pyrometallurgical processing method of lead chloride dust developed by soda reduction melting in rotary furnace is studied. The optimal parameters and the material balance of the process were set. The results of industrial testing process were determined in an open society stock "Ukrspav".

Keywords: lead chloride dust, soda reduction melting, rotary furnace

Введение

В настоящее время в металлургии вторичного свинца применяют переплав неразделанного аккумуляторного лома в шахтной печи [1]. При этом на одну тонну лома образуется 80-100 кг свинцовой хлоридной пыли состава, % по массе: Pb 58-65; Cl 12-22; Sb 0,6-1,3; Sn 0,65-1,3; S 4-8.

Свинец в пыли представлен на 65-70 % хлоридом PbCl₂, на 25-30 % сульфатом PbSO₄, на 5-7 % оксидом PbO и сульфидом PbS. Присутствие хлора в ломе связано с наличием в нем поливинилхлоридных сепараторов аккумуляторов. До 70 % хлора из лома возгоняется в виде хлорида PbCl₂. Предотвратить образование летучих хлоридов свинца не удастся ни в