ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/214

**УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗРУШЕНИЯ ТРУБНОЙ СТАЛИ**

Деревягина Л.С., Гордиенко А.И.

Институт физики прочности и материаловедения, Томск, Россия

Повышение требований к качеству трубных изделий определяется потребностью в материалах, обеспечивающих надежность эксплуатации в условиях климата северных регионов страны и более высокого уровня рабочего давления транспортируемого вещества.

При изменении режимов термомеханических обработок низкоуглеродистых сталей можно получать широкий спектр структур промежуточного превращения с разным их соотношением и, таким образом, кардинально изменять механические свойства стали [1-2]. Однако имеющиеся литературные данные о количественном соотношении структурных составляющих, наиболее оптимально сочетающих свойства прочности, вязкости и хладостойкости сталей, неоднозначны.

Цель настоящей работы – изучение влияния термомеханических обработок на механические свойства, хладостойкость и процесс разрушения низкоуглеродистой стали 10Г2ФБЮ в условиях статического и динамического нагружений в широком диапазоне температур испытания.

Обработку низкоуглеродистой трубной стали 10Г2ФБЮ выполняли по трем режимам. Первый режим заключался в проведении термической обработки путем аустенизации стали при температуре 900°C (вблизи критической точки A_{c3}) с выдержкой в течение 30 мин и ускоренным охлаждением в масле (обработка I). Для снятия внутренних напряжений в термообработанной стали дополнительно был проведен отжиг при температуре 550°C в течение одного часа (обработка II). В качестве третьего варианта обработки проведена термомеханическая обработка методом поперечно-винтовой прокатки. Заготовки для поперечно-винтовой прокатки в виде прутков с круглым сечением диаметром 40 мм и длиной ≈ 220 мм нагревали до температуры 920°C, выдерживали 40 мин и прокатывали в нижней части γ -области за 6 проходов до диаметра прутка 17.4 мм. Завершали прокатку вблизи точки A_{r3} и затем охлаждали на воздухе (обработка III).

Исследования микроструктур проводили на оптическом микроскопе марки Zeiss Axiovert 25. Для оценки уровня механических свойств стали проведены испытания на статическое растяжение образцов в форме двойной лопатки с размерами рабочей части 15×3×1мм на установке типа Поляни. Ударные испытания на изгиб стандартных образцов размерами 10×10×55мм с V-образным надрезом проводили на маятниковом копре INSTRON MPX 450 в диапазоне температур испытания $T_{исп}$ от +20°C до -70°C. После испытаний исследовали поверхности разрушения ударных образцов с использованием растрового электронного микроскопа марки Philips SEM 515. Температуру вязко-хрупкого перехода $T_{хв}$ определяли по серийным кривым ударной вязкости. За критическую температуру принимали середину температурного интервала резкого изменения кривой ударной вязкости.

Для исходного состояния стали, прочностные характеристики которой соответствуют классу прочности К65 (табл.1), в температурном интервале испытаний на ударный изгиб от -20°C до -40°C обнаружен вязко-хрупкий перехода. $T_{хв}$ составила -32°C.

Проведение аустенизации и закалки в масле (обработка I) способствует увеличению прочностных характеристик стали в 2-2.5 раза по сравнению с исходным состоянием, но сниженным показателям ударной вязкости разрушения во всем интервале температур испытаний (табл.1). Эти эффекты связаны с формированием мартенситной структуры [3], уменьшением размеров зерен с 12 мкм до 6-9 мкм и повышением значений микротвердости HV_{50} до 2750 МПа (в исходном состоянии $HV_{50} = 1620$ МПа).

Проведение дополнительного отжига после обработки I приводит к понижению пределов текучести и прочности до 790 МПа и 855 МПа, соответственно, но улучшению низкотемпературных характеристик вязкости разрушения (табл.1). Температура вязко-

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

хрупкого перехода $T_{\text{хв}}$ стали смещается в область отрицательных температур до -60°C . Повышению уровня ударной вязкости при отрицательных температурах и снижению порога хладноломкости стали способствует распад реечной структуры мартенсита и формирование сорбита отпуска – мелкодисперсной ферритоцементитной смеси. Такая структура является более «мягкой» по сравнению с обработкой I (HV_{50} снижается до 1960 МПа). В ней, по сравнению с исходным состоянием, отсутствуют обширные области перлитных зерен, способствующие возникновению хрупких микромеханизмов разрушения стали.

Таблица 1.
Механические свойства стали 10Г2ФБЮ

	σ_0 , МПа	σ_B , МПа	ε_{tot} , %	KCV ^{+20°C} , Дж/см ²	KCV ^{-40°C} , Дж/см ²	KCV ^{-70°C} , Дж/см ²
Исходное состояние	378	650	24	250	23	13
Обработка I	1050	1290	10	88	33	10
Обработка II	790	855	12	245	170	70
Обработка III	435	770	24	236	204	174

После поперечно-винтовой прокатки в структуре наблюдается измельчение ферритных зерен стали до 5 мкм, более однородное чередование феррита и перлита, уменьшаются размеры перлитных зерен и их объемная доля до 11% (в исходном состоянии – 20%). Обнаружено также формирование областей мелкодисперсного гранулярного бейнита. Такая структура обеспечивает оптимальное сочетание свойств прочности и вязкости разрушения. Предел прочности повышается до 770 МПа, а $T_{\text{хв}}$ стали снижается до температур ниже -70°C . О высокой вязкости разрушения вплоть до температур испытания -70°C свидетельствуют широкие «губы» среза, утяжки боковых граней и существенно меньшая доля зоны с хрупким микромеханизмом разрушения по сравнению с исходным состоянием и обработками I и II.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ №16-48-700257p_a.

Литература

1. J. Chen, Sh. Tang, Zh.-Yu. Liu and G.-D. Wang // Materials Science & Engineering A. 2013. 559. 241-249.
2. X. Yang, X. Tan, Yu. Xu, Zh. Hu, Yo. Yu, and Di Wu. // Materials Science Forum. 2015. 816, 743-749.
3. L. S. Derevyagina, V. E. Panin, A. V. Korznikov and A. I. Gordienko // AIP Conference Proceedings. 2016. 1783. 020038.