

Выводы

1. В практической работе режимы электрополирования шлифов, фольг и режимы отделения реплик подбирают эмпирически, так как современная теория еще не позволяет сделать расчеты конкретных условий процесса.
2. При выборе состава электролита предпочтительно использовать электролит, который позволяет проводить качественное полирование при температурах, близких к комнатным.

Список использованных источников

1. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
2. Синдо Д. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т. Оикава. – М.: Техносфера, 2006. – 256 с.
3. Соляник Н.Х. Препарирование объектов исследования для электронной микроскопии: методическое пособие / Н.Х. Соляник, Г.Г. Гаркуша, О.В. Жерлицина. – Мариуполь: АМИ ОНМА, 2011. – 40 с.

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 05.04.2011

УДК 669.017

Ткаченко Ф.К.¹, Гаврилова В.Г.², Григорьева М.А.³, Русецкий В.А.⁴, Ткаченко Н.В.⁵

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАСТЯЖЕНИЯ СТАЛИ X70, ЗАКАЛЕННОЙ ИЗ МЕЖКРИТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА

В работе исследовано влияние структурного состояния трубной стали X70, полученного в результате закалки из межкритического интервала, на склонность к деформационному упрочнению в процессе растяжения.

Ключевые слова: *штрипсовая сталь X70, межкритический интервал, деформационное упрочнение, кривая растяжения.*

Ткаченко Ф.К., Гаврилова В.Г., Григор'єва М.О., Русецький В.А., Ткаченко Н.В. Особливості деформаційного зміцнення у процесі розтягнення сталі X70, загартованої з міжкритичного інтервалу. *У роботі досліджено вплив структурного стану трубної сталі X70, отриманого в результаті загартування з міжкритичного інтервалу на схильність до деформаційного зміцнення в процесі розтягання.*

Ключові слова: *штрипсова сталь X70, міжкритичний інтервал, деформаційне зміцнення, крива розтягнення.*

F.K.Tkachenko, V.G. Gavrilova, M.A. Grigoreva, V.A. Rusetskiy, N.V. Tkachenko. Influence of the structural state of pipe steel of X70 is got as a result of tempering from an intercritical interval. *Influence of the structural state of pipe steel of X70 is got as a result of tempering from an intercritical interval on propensity to the de-structure work-hardening in the process of tension are investigated in this work.*

Keywords: *pipe steel X70, intercritical interval, deformation hardening, a curve of a stretching.*

Постановка проблемы. Непрерывное повышение требований к сталям, применяемым для изготовления сварных газопроводных труб большого диаметра, вызывает необходимость дальнейшего совершенствования химического состава и структурного состояния за счет опти-

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
⁴ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
⁵ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

мизации режимов термоупрочнения.

Анализ последних исследований и публикаций. В связи с актуальностью данной проблеме уделяется большое внимание как в зарубежной, так и в отечественной литературе. К последним публикациям следует отнести статью М. Ю. Матросова, Л. И. Эфрона и других.

Цель статьи. Выявление возможности улучшения технологических и служебных характеристик стали X70 за счет её термоупрочнения из межкритического интервала.

Изложение основного материала. Уровень механических свойств металлов и сплавов оценивается, как известно, на основании результатов испытаний с использованием различных способов нагружения. Наиболее полную информацию о свойствах металлов позволяет получить способ испытания на растяжение. Полученная при таком испытании информация включает следующие основные характеристики: σ_T , σ_B , δ , ψ . Как известно, величина σ_T соответствует предельному значению упругой деформации и началу пластической деформации, σ_B соответствует нагрузке (напряжению), превышение которой сопровождается локализацией деформации с образованием «шейки».

Дополнительную информацию, отражающую изменение характеристик металла в процессе пластической деформации при увеличении напряжения от σ_T до σ_B , дает отношение этих величин σ_T/σ_B . Такой показатель, однако, не дает представления об уровне пластичности в области однородной деформации, наблюдаемой в процессе роста напряжения в пределах $\sigma_T \div \sigma_B$.

В связи с этим более приемлемой величиной, характеризующей развитие пластической деформации в указанном интервале растягивающих напряжений, следует считать отношение разности напряжений $\sigma_B - \sigma_T$ к удлинению образца, соответствующему этому участку кривой растяжения $(\Delta\sigma/\Delta\epsilon)_{\sigma_T \div \sigma_B}$.

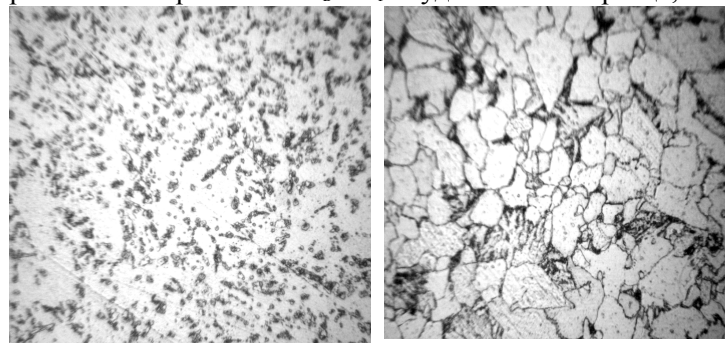


Рис. 1 - Микроструктура стали X70 после предварительной нормализации (а) и закалки от температуры 790°C (б), $\times 400$

Очевидно, что это отношение характеризует средний уровень деформационного упрочнения на стадии равномерной деформации. В настоящей работе исследованы особенности такой деформации в трубной стали X70, подвергнутой термическому упрочнению по режиму неполной закалки с нагревом до различных температур межкритического интервала A_3-A_1 . В таблице 1 приведен химический состав исследуемой стали.

Таблица 1

Химический состав штрипсовой стали X70, %

C	Si	Mn	Cr	Nb	V	Mo	Ti	Al	Cu	Ni	S	P
0,12	0,15÷0,45	1,6	0,2	0,05	0,08	0,1	0,04	0,06	0,35	0,2	0,005	0,02

Критические точки исследуемой стали: $A_{C1}=720\text{ }^\circ\text{C}$; $A_{C3}=862\text{ }^\circ\text{C}$.

Предварительно аустенитизированные при температуре 1070°C заготовки после выдержки при данной температуре в течение 25 мин. охлаждались на воздухе. После этого они нагревались в межкритический A_1-A_3 интервал до температур: 700 °C, 730°C, 760 °C, 790 °C, 820 °C с выдержкой 25 мин. и последующим охлаждением в воде. Таким образом, нормализация от температуры выше A_{C3} обеспечивала относительно полное растворение карбонитридных фаз, а при последующем нагреве в интервал температур $A_{C1}-A_{C3}$ и охлаждением в воде, в исследуемой стали фиксировались различные стадии образования аустенита.

На рис. 1а представлена микроструктура стали X70 после нормализации от 1070 °C. Такая обработка обеспечила формирование структуры феррито-перлитного типа. Последующая закалка из межкритического интервала позволила создать условия для образования смешанных структур с различным соотношением феррита и мартенсита (рис. 1 б).

В таблице 2 представлены усредненные результаты испытаний на растяжение образцов, закаленных из межкритического интервала.

Таблица 2

Механические свойства стали X70 после термообработки

Температура нагрева, °С	I			II		
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	$\Delta\sigma$, МПа	$(\Delta l/l_0)_p$	η
700	493,1	516,8	18,0	23,7	0,18	131,7
730	498,7	519,9	19,5	21,2	0,20	108,7
760	497,1	519,6	18,0	22,5	0,18	125,0
790	488,3	527,0	19,5	38,7	0,20	198,5
820	478,6	526,0	25,5	47,4	0,26	185,9

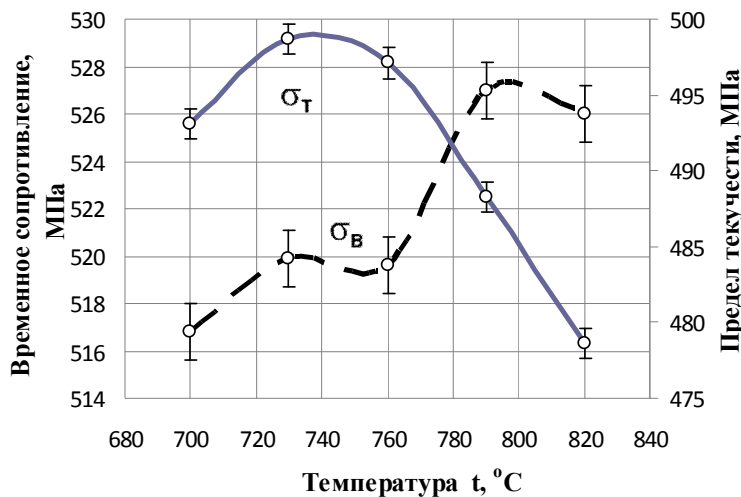


Рис.2 - Зависимость показателей прочности стали X70 от температуры заковки из межкритического интервала

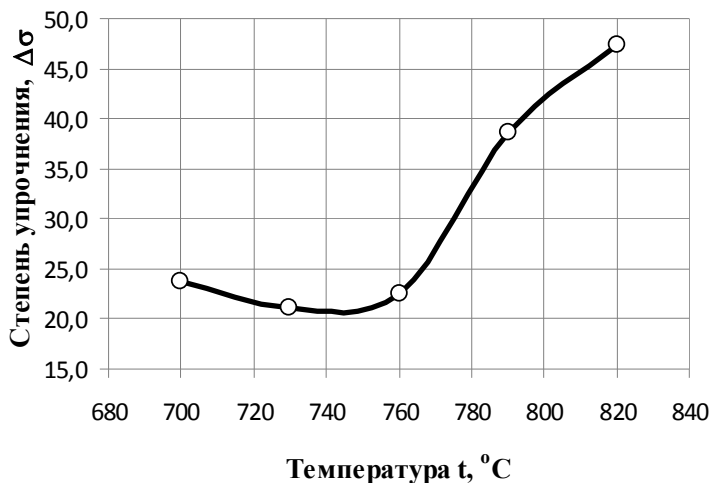


Рис.3 - Влияние температуры заковки из межкритического интервала на степень упрочнения

Эта величина находилась из диаграмм растяжения путем деления относительного удлинения $\Delta\delta$ на участке равномерной деформации на 100. Зависимость ее от температуры заковки приведена на рис. 4.

Из результатов расчетов величины η , приведенных на рис. 5, следует, что образцы, подвергнутые предварительной нормализации от 1070 °С (исходное состояние всех образцов) после заковки от температуры ~ 730 °С характеризуются низкой упрочняемостью $\eta=108,7$. При повышении температуры до 730 °С величина η снижается до 110,0, а затем возрастает до максимального значения $\eta=199,5$.

Полученные результаты дают основания считать, что рост показателя η при повышении

Как видно из рис. 2, повышение температуры заковки от 700 до 830 °С сопровождается изменением величин σ_B и σ_T в противоположных направлениях: в межкритическом интервале $A_1 - A_3$ величина σ_B медленно возрастает от 516,8 до 527,0 МПа, а σ_T относительно резко снижается от 498,7 до 478,6 МПа.

Таким образом, повышение температуры заковки в межкритическом интервале приводит к резкому увеличению разности $\Delta\sigma = \sigma_B - \sigma_T$ (рис. 3).

Такой характер изменения показателей прочности, очевидно, связан с изменением количественного соотношения двух структурных составляющих, феррита и мартенсита, обладающих различными свойствами, характеризующими их способность к деформационному упрочнению в процессе нагружения.

В данной работе оценка средней величины коэффициента упрочнения

$$\eta = \Delta\sigma / (\Delta l/l_0) \quad (1)$$

выполнялась путем определения отношения разности $\Delta\sigma$ к относительному удлинению разрывных образцов на участке диаграммы растяжения, соответствующему равномерному удлинению $(\Delta l/l_0)_p$.

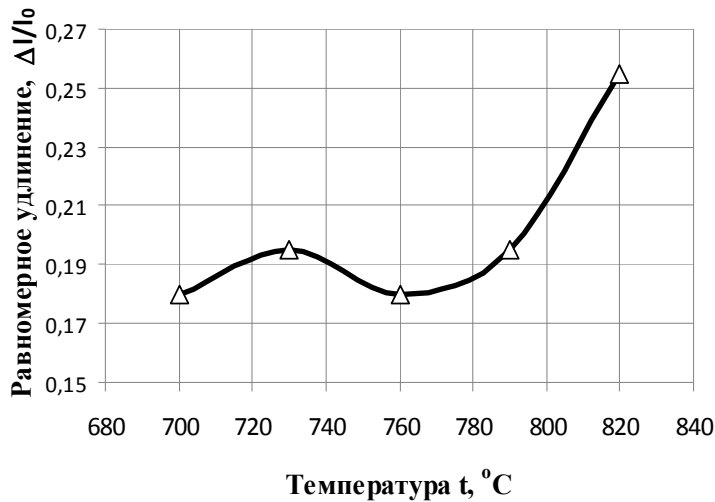


Рис.4 - Зависимость величины равномерного удлинения от температуры закалки из межкритического интервала

рактически не изменяется в интервале температур 700-760°C, а затем резко возрастает.

- Показано, что повышение температуры закалки от A_1 до точки A_3 , обеспечивающее изменение структуры от смешанной феррито - мартенситной до мартенситной, сопровождается повышением коэффициента упрочнения в 1,8 раза.
- Полученные результаты рекомендуется использовать при оценке показателей технологических и служебных характеристик сталей трубного сортамента.

Список использованных источников:

- Пилушенко В.Л. Прочность и хрупкость конструкционной легированной стали/ В.Л. Пилушенко, Б.Б. Винокур. - К.:Рипол, 2004. -324с.
- Урцев В.Н. Влияние деформации в двухфазной области на кинетику аустенит-феррит превращения в стали 08Г2С / В.Н. Урцев, В.Д. Дегтярев, В.В. Мухин и др. // Сталь.- 2005.-№5.- С.75-84.
- Конева Н.А. Природа стадий пластической деформации/ Н.А. Конева// Известия ВУЗов: Физика.-1998.-№2.-С.99-105.
- Ниобийсодержащие низколегированные стали/ С, Хулка К., Матросов Ю.И., Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И., Столяров В.И., Чевская О.Н.- М.: Интермет инжиниринг, 1999. -96с.

Рецензент: А.П. Чейлях
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

температуры закалки из межкритического интервала с увеличением количества мартенситной составляющей в структуре, обладающей повышенной способностью к деформационному упрочнению.

Причиной этого, очевидно, является наличие в мартенсите диффузионно активных атомов углерода, блокирующих источники дислокаций.

Выводы

- На основе анализа диаграмм растяжения образцов стали X70, закаленных из межкритического A_1 - A_3 интервала, установлен ха-

Статья поступила 18.02.2011