

УДК 669.14.018.295: 621.785.616

Рябикина М.А.¹, Иванова Т.Ю.², Ткаченко К.И.³, Ставровская В.Е.⁴

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ К60

Выполнено исследование возможных причин неоднородности прочностных характеристик в пределах площади листов стали К60 после их термоупрочнения в роликоткалочной машине в условиях ОАО «МК «Азовсталь».

В условиях ТЛЦ 3600 ОАО «МК «Азовсталь» производят листовой прокат класса прочности К60. Согласно требованиям АК «Транснефть», металл должен иметь следующий комплекс механических свойств: $\sigma_{0,2} \geq 480$ МПа, $\sigma_B \geq 590$ МПа, $\delta_5 \geq 22\%$, $KCV \geq 78,5$ Дж/см². Листы поставляются на Харцызский трубный завод в состоянии после контролируемой прокатки. Допускается термическое улучшение (закалка от 930-950 °С, $\tau_{уд.} = 2$ мин/мм, и последующий отпуск при 570 – 600 °С). В ряде случаев после термоупрочнения не обеспечивается гарантированный уровень прочности в различных участках листа. Одной из возможных причин неоднородной прочности может являться неравномерное охлаждение листов в роликоткалочной машине [1, 2].

Цель работы – изучение влияния колебаний температуры охлаждающей среды на структурообразование и механические свойства листовой стали К60 толщиной 20 мм. От металлопроката следующего химического состава, %: С-0,10; Мн-1,69; Si-0,24; Cr = 0,01; Ni = 0,01; Cu = 0,01; Al-0,034; Ti = 0,021; Nb = 0,045; V = 0,066; N = 0,006; S = 0,03; P = 0,008 отбирали карточки размером 200×300×20 мм. После порезки их на планки, последние подвергали термической обработке по режиму: нагрев в лабораторной электропечи до 930 °С и охлаждение в баке с водой, температуру которой изменяли от 15 до 90 °С через 10 °С. На всех пробах производили механические испытания, при этом на одной из партий – в закаленном состоянии, а на другой – после закалки с отпуском при 570 °С. Результаты механических испытаний исследованных проб показаны на рис. 1.

Из представленных результатов видно, что с увеличением температуры закалочной воды от 15 °С до 40 °С показатели прочности $\sigma_{0,2}$ и σ_B плавно возрастают на ~30 МПа, затем в интервале 40 – 70 °С снижаются. При дальнейшем повышении температуры воды до 90 °С наблюдается резкое падение (на ~150 МПа) этих характеристик. Наблюдаемое повышение прочностных свойств листовых проб в интервале закалочных температур 15 – 40 °С по-видимому обусловлено дегазацией воды и, как следствие, увеличением ее охлаждающей способности. Дальнейшее повышение температуры воды от 40 до 50 °С приводит к уменьшению ее теплоты парообразования и теплоемкости. При температуре воды ≈ 90 °С начинается процесс объемного парообразования, что приводит к резкому снижению скорости охлаждения, и соответствующему изменению структурного состояния стали, обуславливающего существенное уменьшение прочности [3].

Что касается изменения относительного удлинения, то особенностью этой характеристики является то, что наиболее высокие значения δ соответствуют температуре воды 15 °С ($\delta = 24\%$) и 90 °С ($\delta = 25\%$). Во всех остальных случаях величина относительного удлинения характеризуется стабильными значениями на уровне 20 – 22 %.

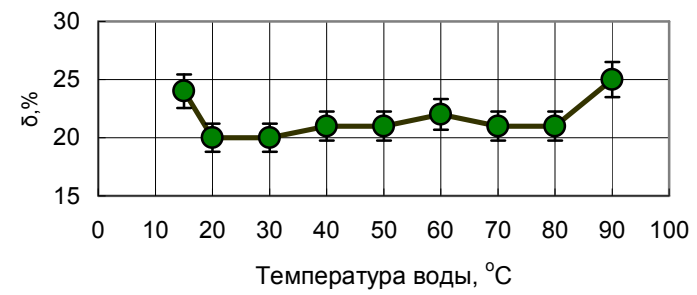
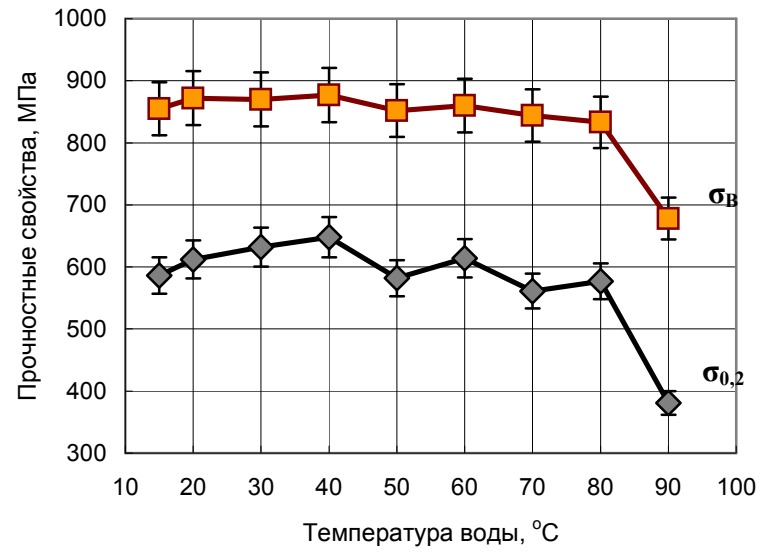
¹ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

²ОАО «МК «Азовсталь», инж.

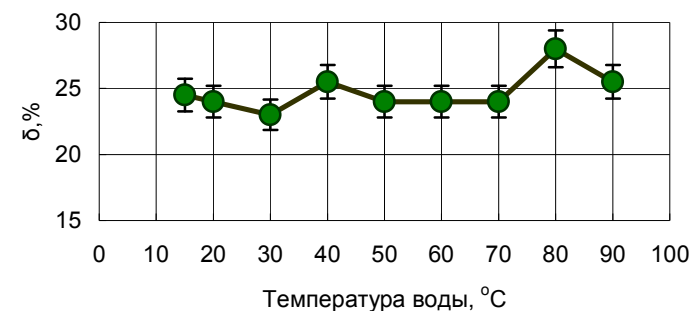
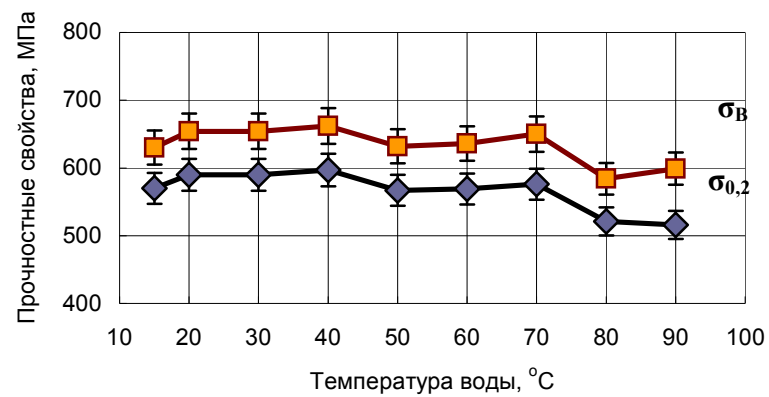
³ПГТУ, аспирант

⁴ОАО «МК «Азовсталь», инж.

101



а)



б)

Рис. 1 – Влияние температуры охлаждающей среды на механические свойства листовой стали К60 после заковки (а) и заковки с последующим отпуском при 570 °C (б)

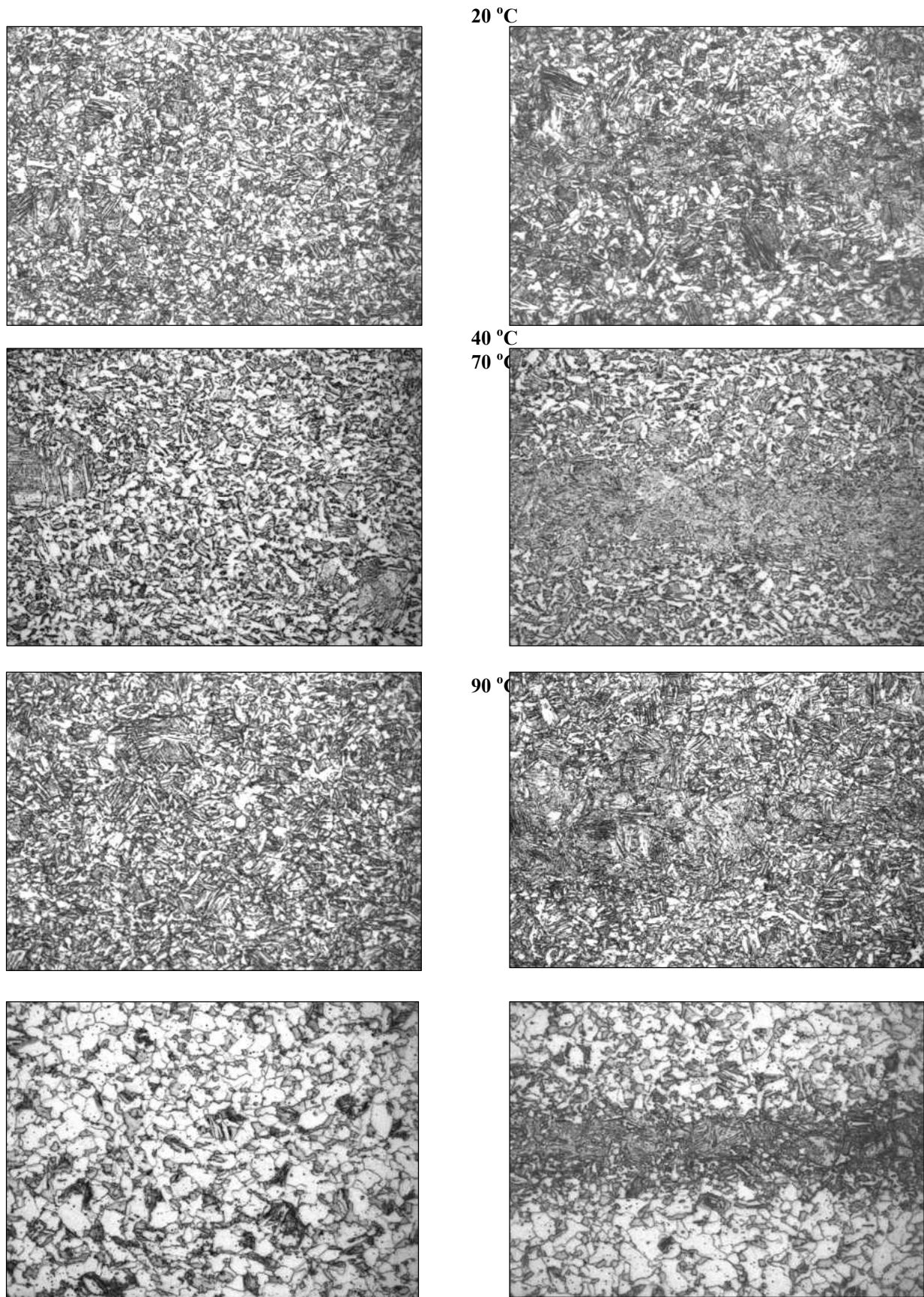


Рис. 2 – Микроструктура ($\times 1000$) стали К60 после заковки от 930 °C в воде с различной температурой: слева – 1/3 толщины, справа – осевая зона

После высокого отпуска тенденция изменения прочностных свойств от температуры закалочной среды сохранилась. Температуры воды, которым соответствуют максимумы и минимумы прочностных свойств после двух вариантов термической обработки (закалка и закалка + отпуск), приблизительно совпадают. Разброс значений прочностных свойств после термического улучшения составляет ~80 МПа. Прочностные характеристики после отпуска понижаются: предел текучести – на ~30 МПа, а предел прочности – на ~170 МПа. Максимумы на кривой зависимости относительного удлинения от температуры охлаждающей жидкости после закалки и отпуска соответствуют 40 °С ($\delta = 25,5 \%$) и 80 °С ($\delta = 28 \%$). После высокого отпуска значения относительного удлинения повышаются на ~3 %. Повышение значений δ в результате высокого отпуска обусловлено снятием внутренних напряжений, рекристаллизацией ферритной матрицы, а также протеканием процессов коагуляции и сфероидизации карбидных частиц.

Металлографическими исследованиями установлено, что в результате охлаждения проб в воде с температурой 15 – 80 °С формируется смешанная феррито–бейнитная структура. В случае, когда температура воды составляет 90 °С, превращение переохлажденного аустенита происходит в перлитной области с образованием феррито–перлитной структуры, что является причиной резкого уменьшения прочностных свойств, рис. 2. В центральных по толщине участках листа, вследствие развития осевой ликвации, наблюдается широкая серая полоса, имеющая мартенситоподобное игольчатое строение.

Результаты настоящего исследования рекомендуется учитывать при совершенствовании технологии термического упрочнения листовых сталей.

Выводы

1. Установлено немонотонное влияние температуры охлаждающей среды на прочностные свойства стали категории К60. При этом величина относительного удлинения листов остается практически постоянной – 21 – 22 %. После отпуска металла при 570 °С сохранилась тенденция изменения прочностных свойств в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. При этом произошло снижение $\sigma_{0,2}$ в среднем на ~30 МПа, а величина σ_B уменьшилась на ~220 МПа.
2. Колебания температуры воды при закалке листов в роликозакалочной машине могут являться причиной существенного изменения механических свойств по площади листа. Последующий высокий отпуск не устраняет неоднородность механических свойств листового проката. Разница между максимальными и минимальными значениями прочностных свойств после термического улучшения может достигать ~100 МПа.
3. Механические свойства листовой стали К60 после закалки от температур 930 °С и последующего отпуска при 570 °С соответствуют техническим требованиям на поставку листового проката при производстве труб для АК «Транснефть».

Перечень ссылок

1. *Большаков В.И.* Термическая обработка стали и металлопроката: учеб. / *В.И.Большаков, И.Е. Долженков, В.И. Долженков.* – Днепропетровск: Gaudeamus, 2002. – 271 с.
2. *Большаков В.И.* Технология термической и комбинированной обработки металлопродукции: учеб. / *В.И.Большаков, И.Е. Долженков, В.И. Долженков.* – Днепропетровск: Gaudeamus, 2002. – 385 с.
3. *Гудремон Э.* Специальные стали / *Э. Гудремон:* Пер. с нем. – М.: ГНТИ, 1959. – 952 с. – Т. I

Рецензент: А.М. Скребцов
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 30.01.2008