

УДК 621.785: 621.14.018.85

Рябкина М.А.¹, Иванова Т.Ю.², Згонник О.П.³, Ткаченко К.И.⁴

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ТЛЦ 3600 ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Выполнен анализ уровня механических свойств котельной стали и построены регрессионные модели зависимости ударной вязкости от колебаний химического состава. Разработана и освоена технология термического упрочнения, обеспечивающая повышение качественных показателей металлопроката в условиях ОАО «МК «Азовсталь».

Требуемый уровень механических свойств котельных сталей достигается за счет термического упрочнения проката с отдельного или прокатного нагрева. В первом случае нагрев толстолистового проката перед закалкой осуществляют в проходных роликовых печах. После нагрева листы охлаждают в воде с повышенной скоростью. Применяют, как прерванное ускоренное охлаждение со скоростью $<20-30$ °C/с до температуры выше мартенситной точки M_n , так и полное охлаждение в воде до комнатной температуры с повышенной скоростью $>20-30$ °C/с в область температур ниже точки M_n [1,2]. Технология прерванного ускоренного охлаждения нашла наибольшее применение в Японии и Европе.

В условиях ТЛЦ 3600 металлургического комбината ОАО «МК «Азовсталь», согласно Правилам ASTM A516 для сосудов высокого давления, производят толстолистовую сталь 70. Химический состав стали, %: C-0,2-0,27; Mn-0,85-1,2; Si-0,15-0,40; Al-0,02-0,05; P \leq 0,035; S \leq 0,035; Cr \leq 0,3; Ni \leq 0,3; Cu \leq 0,30; N \leq 0,012. Требуемые механические свойства: $\sigma_{0,2} \geq 260$ МПа, $\sigma_B = 485-620$ МПа, $\delta \geq 21\%$, $KCV_{46} \geq 46$ Дж/см². Плиты после горячей прокатки подвергаются нормализации от 930°C на участке камерных печей стана. В ряде случаев после такой обработки наблюдаются неудовлетворительные значения ударной вязкости при отрицательных температурах испытания.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния колебаний химического состава и параметров режима термической обработки на ударную вязкость плит толщиной от 50 до 125 мм при отрицательных температурах испытания. Исследование выполнено на основе статистического анализа результатов прямо-сдаточных испытаний листовой стали 70 ASTM-516 в нормализованном состоянии. Объем выборки составил 150 плавок. В таблице представлены результаты анализа в виде уравнений регрессии и коэффициентов парной корреляции для факторов, у которых $r \geq 0,1$. Как видно, наиболее сильное отрицательное влияние на ударную вязкость оказывают углерод, кремний, сера, фосфор и титан, а положительное - никель. Известно [3], что наиболее простым и эффективным способом повышения вязкости стали является уменьшение в ней содержания углерода, при одновременном снижении содержания серы и фосфора. Анализ показывает, что требуемая ударная вязкость KCV_{46} может быть достигнута при содержании углерода на уровне $\sim 0,2$ %, фосфора и серы – не более 0,01 и 0,005 % соответственно.

С целью повышения эффективности упрочняющей обработки проката, на ОАО «МК «Азовсталь» была разработана и освоена технология термического упрочнения, заключающаяся в нормализации с частичным ускоренным охлаждением плит в воде в течение 1-3 мин в

¹ ПГТУ, канд. техн. наук, доцент

² ОАО «МК «Азовсталь», инженер

² ОАО «МК «Азовсталь», инженер

⁴ ПГТУ, аспирант

зависимости от толщины листа. После кратковременного охлаждения в воде происходит самоотпуск поверхности за счет тепла, аккумулированного центральной частью плиты. Среднестатистические результаты испытаний металла после термического упрочнения для плит различных толщин представлены на рисунке.

Таблица – Влияние химического состава на ударную вязкость стали 70

Фактор химического состава	Ударная вязкость KCV_{46} , Дж/см ²	
	r	Вид уравнения регрессии
C, %	-0,53	$KCV_{46}=167,7-578,7\cdot\%C$
Mn, %	0,10	$KCV_{46}=52,1+773,5\cdot\%Mn$
Si, %	-0,15	$KCV_{46}=55,0-59,5\cdot\%Si$
S, %	-0,20	$KCV_{46}=50,6-1332,5\cdot\%S$
P, %	-0,47	$KCV_{46}=62,1-1405,5\cdot\%P$
N, %	-0,10	$KCV_{46}=51,6-1749,8\cdot\%N$
Ni, %	0,27	$KCV_{46}=45,5+30,5\cdot\%Ni$
Ti, %	-0,35	$KCV_{46}=52,7-1065,5\cdot\%Ti$
Cu, %	-0,11	$KCV_{46}=46,8-246,6\cdot\%Cu$
Al (sol), %	0,10	$KCV_{46}=40,0+32,5\cdot\%Al$

Как видно, из графиков, комбинированное (вода-воздух) охлаждение от температур нормализации приводит к значительному повышению ударной вязкости и менее интенсивному увеличению прочностных свойств. Прочностные свойства увеличились в среднем на ~ 20-30 МПа по сравнению с нормализацией. В обоих случаях с увеличением толщины листов наблюдается монотонное снижение $\sigma_{0,2}$ и σ_B на ~30-50 МПа. Относительное удлинение после нормализации и термоупрочнения примерно одинаково и составляет ~ 30 %. Значения ударной вязкости листов указанных толщин после нормализации изменялись в интервале 20-40 Дж/см².

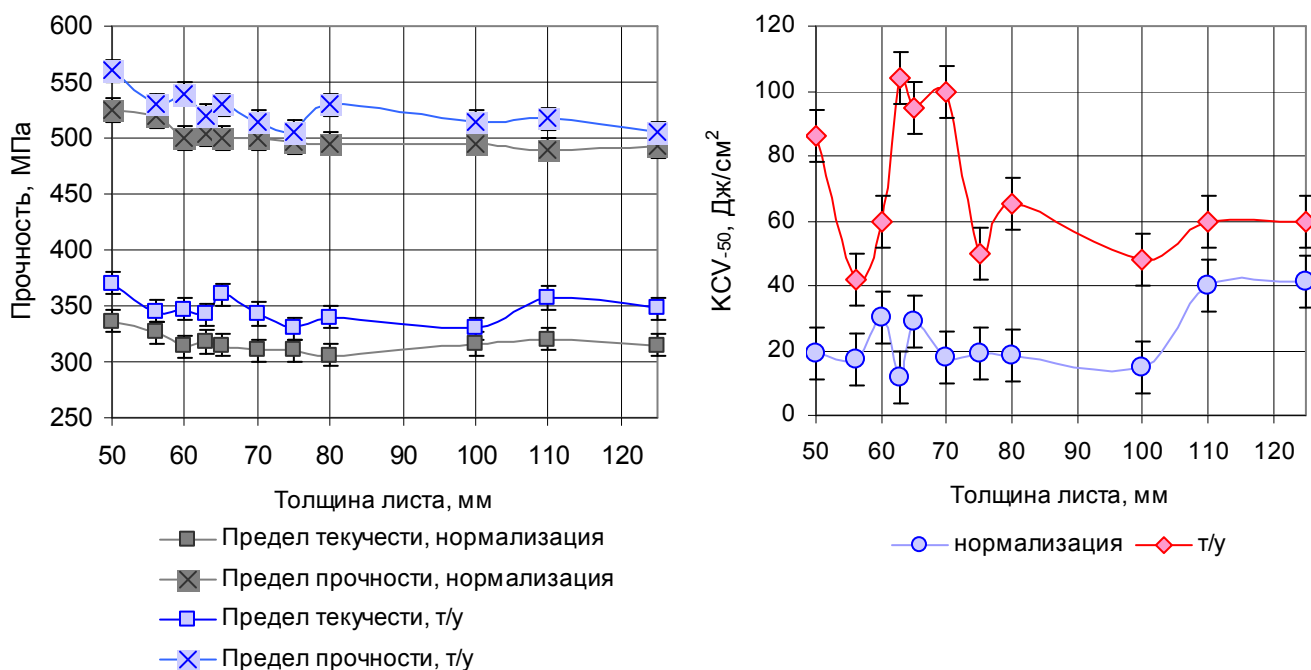


Рис. – Механические свойства плит из котельной стали 70 ASTM 516

Для листов, толщиной от 50 до 100 мм KCV_{50} составляла ~ 20 Дж/см², а для листов толщиной 110-125 мм – 40 Дж/см². Такие значения ударной вязкости являются неудовлетворительными. После нормализации с последующим комбинированным охлаждением ударная вязкость увеличилась на ~ 40 Дж/см² (примерно в 1,5 раза). Для листов толщиной 60-70 мм достигнуты значения ударной вязкости $KCV_{50} = 100$ Дж/см², что более чем в 2,5 раза превышает ударную вязкость после нормализации по существующему режиму.

Следует также отметить, что разброс значений ударной вязкости после термического упрочнения усилился и составлял от 40 до 100 Дж/см². Изменение ударной вязкости с увеличением толщины листов носит немонотонный характер, что более заметно проявляется после ускоренного охлаждения плит: при толщине листа 50 мм - $KCV_{50} = 86$ Дж/см², а при 56 мм - 42 Дж/см², затем при 63 мм $KCV_{50} = 104$ Дж/см², а при 75 мм - 50 Дж/см² и заканчивается при 125 мм значением $KCV_{50} = 60$ Дж/см².

Таким образом, комбинированное охлаждение в сравнении с охлаждением на воздухе обеспечивает одновременное повышение ударной вязкости и прочности стали вследствие измельчения зерна феррита. При этом усиливается эффект дисперсионного упрочнения и формируются низкотемпературные продукты промежуточного превращения взамен перлита. Ускоренное охлаждение способствует устранению полосчатости, уменьшению плотности расщеплений, что также оказывает благоприятное воздействие на ряд характеристик [4,5].

Выводы

1. Результаты выполненного анализа позволили откорректировать химический состав стали 70 ASTM-516 для сосудов давления: C–0,18-0,20 %; Si–0,20-0,22 %; Mn–1,1-1,2 %; Ti–0,005 %; N–0,005 %; S≤0,005 %; P≤0,01 %.
2. Для исправления неудовлетворительных значений ударной вязкости, полученных после нормализации котельной стали 70 толщиной 50-125 мм, рекомендовано применять тот же режим с комбинированным охлаждением вода-воздух. Нормализация с ускоренным охлаждением обеспечивает существенное повышение уровня ударной вязкости - $KCV_{46} \geq 40$ Дж/см². Для листов толщиной 60-70 мм достигнуты значения ударной вязкости $KCV_{46} = 100$ Дж/см², что более чем в 2,5 раза превышает ударную вязкость после нормализации. При этом прочностные характеристики увеличились на 20–30 МПа. Настоящие исследования могут быть продолжены в направлении разработки новых методов упрочняющей термической обработки, а также изучения ее влияния на Z-свойства плит.

Перечень ссылок

1. О тенденциях развития сталей для промышленных металлоконструкций в России / П.Д. Одесский [и др.]// Сталь. – 2000. – №8. – С.57-60.
2. Эффективная ресурсосберегающая технология термомеханического упрочнения проката / В.И. Большаков [и др.]// Сталь. – 2004. – №6. – С.96-98.
3. Конструкционные материалы будущего / Г.А. Филиппов [и др.]// Сталь. – 2004. – №8. – С.69-78.
4. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей: Пер. с англ. / Ф.Б. Пикеринг – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.
5. Физическое металловедение: Пер. с англ.: в 3-х т. - М.: Металлургия, 1987. – Т. 3: Физико-механические свойства металлов и сплавов, 1987. – 663 с.

Рецензент: А.М.Скребцов
д-р техн. наук, проф., ПГТУ
2007

Статья поступила 05.02.