

УДК 621.785.616:621.771.23

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА
ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ ЛИСТОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ
ЗАВОДЕ HUTA STALOWA WOLA, ПОЛЬША**

Н. Т. Егоров*, к. т. н., доц., **А. Л. Остапенко****, к. т. н., с. н. с.,
С. А. Гриценко***, инж.

**Донецкий национальный технический университет,*

***НПО «ДОНИКС»,*

****Новокраматорский машиностроительный завод*

Развитие листопркатного производства в условиях рыночных отношений невозможно без разработки новых и совершенствования существующих процессов термической обработки, позволяющих производить прокат с высоким комплексом механических и служебных свойств, обеспечивающих его конкурентоспособность на мировом рынке.

Устойчивым и все возрастающим спросом пользуется высокопрочная толстолистовая сталь, применяемая при строительстве буровых платформ, сосудов, работающих в условиях высоких давлений, промышленных транспортных средств и в судостроении. Решающим фактором при определении экономических преимуществ применения термоупрочненного толстолистового проката является экономия металла благодаря возможности изготовления облегченных конструкций.

К сожалению, в Украине, вопросам развития и внедрения современных технологий и оборудования для производства высокопрочной толстолистовой стали должного внимания не уделяется. Существующие ранее планы реконструкции и замены устаревшего оборудования, используемого для закалки толстых листов, не реализованы.

В то же время высокопрочная толстолистовая сталь сегодня, по-прежнему, является продукцией повышенного спроса и устойчивого сбыта. Максимальный нормируемый уровень предела текучести у зарубежных стандартизованных высокопрочных сталей в настоящее время составляет 960Н/мм². По техническим условиям отдельных зарубежных металлургических форм производятся толстолистовые стали с пределом текучести 1100Н/мм². Применения таких высокопрочных сталей позволяет уменьшить толщину листов при изготовлении сварных конструкций на 60-65%. При этом также уменьшаются затраты на сварку за счет сокращения продолжительности процесса и снижение расхода флюсовых материалов [1].

На толстолистовом стане 2150 металлургического завода Huta Stalowa Wola, Польша в 2007 году введена в эксплуатацию современная линия для упрочняющей обработки толстых листов, состоящая из проходной роликовой печи и закалочной машины.

Роликовая закалочная машина (РЗМ) спроектирована и изготовлена Новокраматорским машиностроительным заводом и предназначена для закалки листов из углеродистых, легированных и специальных марок стали толщиной 3-30мм, шириной 1000-2100мм и длиной 2000-13000мм.

Строительство, материаловедение, машиностроение

Химический состав типовых представителей различных групп обрабатываемых марок сталей приведен в таблице 1

Таблица 1

*Химический состав сталей, подвергаемых закалке
на металлургическом заводе Stalowa Wola, Польша*

Марка стали	Стандарт	Массовое содержание элементов, %						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	другие
40XM	PN84030	0,38-0,43	0,40-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	≤0,30	0,15-0,25	Max 0,30 Cu
18HGT	PN84030	0,17-0,23	0,80-1,10	0,17-0,37	1,00-1,30	≤0,30	≤0,10	0,05-0,12 Ti
15B28H	SAEj1268	0,25-0,34	1,00-1,50	0,15-0,35	≤0,30	≤0,30	≤0,10	0,0005- 0,003 B
S690QL	EN10137	0,17-0,20	1,30-1,70	0,15-0,35	0,30-0,40	0,15-0,30	0,10-0,15	0,06-0,12 V
S960QL	EN10137	0,17-0,20	1,30-1,70	0,15-0,35	0,30-0,40	0,15-0,30	0,10-0,15	0,06-0,12 V
30PM	Wq.ski. cnem.	≤0,30	≤1,20	≤0,50	≤0,90	≤1,10	≤0,25	0,05- 0,08V 0,003B
P285QH	EN10222	≤0,18	0,60-1,40	≤0,40	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,05V ≤0,03Nb
18G2AV	PN84018	≤0,20	1,20-1,65	0,20-0,60	≤0,30	≤0,30	≤0,10	0,05- 0,15V

Примечание: Содержание серы в сталях S690QL, S960QL, 30PM, P285QH 0,010-0,015%, в остальных не более 0,030%; фосфора 0,015-0,020% и 0,035% соответственно.

Роликовая закалочная машина длиной 9,6м установлена непосредственно за нагревательной печью состоит из пяти зон регулируемого охлаждения.

Проектированию РЗМ предшествовали исследования по разработке режимов закалки толстых листов, обеспечивающих получения необходимого уровня механических свойств в соответствии с требованиями зарубежных стандартов.

Основным технологическим параметром процесса закалки толстых, листов, оказывающим решающее влияние на структуру и свойств термоупрочненной стали, является скорость охлаждения.

Анализ имеющихся диаграмм распада переохлажденного аустенита для рассматриваемого марочного сортамента показывает, что критические скорости закалки в интервале температур 800-400°C для сталей марок P285QH, 18G2AV, 18HGT, S690QL, S960QL достаточно велики и достигают 170-360°C/с.

Обеспечить такие скорости охлаждения на толстых листах в реальных условиях производства практически невозможно и, следовательно, не удастся избежать при закалке образования продуктов промежуточного превращения аустенита.

На рисунке 1 представлены данные о влиянии скорости охлаждения на твердость сталей 15B28H, 40XH и 18HGT.

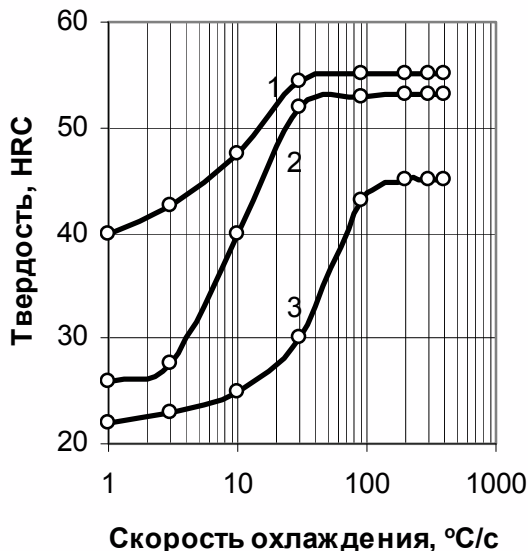


Рис. 1. Влияние скорости охлаждения на твердость сталей 40НМ (1), 15В28Н (2) и 18НГТ (3)

Видно, что для сталей 15В28Н и 40НМ максимальные значения твердости обеспечиваются при скоростях охлаждения более 30°C/c и это обусловлено формированием мартенситной структуры. Для сталей марок 18НГТ, 18Г2АВ, Р285QH, S690QL и S960QL, характеризующихся малой устойчивостью аустенита и низкой прокаливаемостью, максимальная твердость достигается при скоростях охлаждения 80-100°C/c. В структуре закаленной стали, в этом случае, наряду с мартенситом присутствует до 30% бейнита.

При более низких скоростях охлаждения в структуре таких сталей появляется феррит, что приводит к резкому снижению их прочностных свойств (рис. 2).

Аналогичные результаты получены при охлаждении низколегированных сталей 10ХСНД, 09Г2С и 16ГС, широко применяемых при производстве толстых листов на отечественных металлургических предприятиях.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что интенсивное охлаждение толстых листов при закалке сталей с низкой устойчивостью аустенита необходимо, главным образом, для предотвращения выделения в структуре закаленной стали избыточного феррита и это достигается при их охлаждении в интервале 800-400°C со скоростями 80-100°C/c.

Дальнейшее интенсивное охлаждение листов при закалке приводит к возникновению значительных структурных и термических напряжений, что неблагоприятно сказывается на их плоскостности. По этой причине охлаждение листов ниже 400°C следует осуществлять с более низкими скоростями.

Роликовая закалочная машина имеет зоны интенсивного и малоинтенсивного охлаждения, что позволяет осуществлять закалку листов в режиме двухстадийного охлаждения.

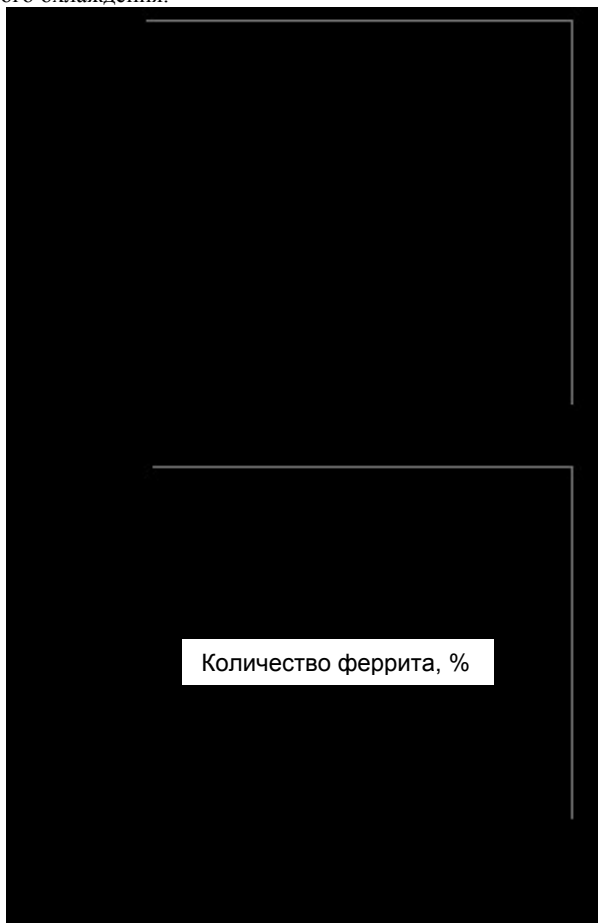


Рис. 2. Влияние избыточного феррита на прочностные свойства стали 0,12 %С, 0,83 %Si, 0,76 %Mn, 0,29 %Cr, 0,68 %Ni после закалки (●) и отпуска при 650 (▲) и 700 °С (○)

Максимальный удельный расход воды, подаваемый на 1м² верхней поверхности листа в 1 и 2секциях зоны интенсивного охлаждения достигает 300м³/м²ч, в каждой из 3-х секций зоны малоинтенсивного охлаждения – до 50м³/м²ч. Соотношение расходов воды, подаваемой на верхнюю и нижнюю поверхность листа, регулируются в пределах 1:1,5. Общий максимальный расход воды при закалке составляет 3400м³/ч. Предусмотрена возможность регу-

лирования расходов воды по ширине листа. Скорость перемещения листов в процессе закалки регулируется от 0,05 до 1,0м/с.

Отличительной особенностью РЗМ нового поколения является система подачи воды в зоне интенсивного охлаждения и программное обеспечение процесса закалки.

Для повышения скорости охлаждения и возможности ее регулирования в первых двух секциях зоны интенсивного охлаждения РЗМ установлены щелевые и двухкамерные коллектора специальной конструкции [2].

Это позволило организовать однонаправленный, в сторону перемещения листа, поток охлаждающей воды и реализовать наиболее эффективное пузырьковое кипения практически с самого начала процесса закалки.

Система охлаждения РЗМ позволяет охлаждать листы с максимальной возможной (близко к теоретической) скоростью охлаждения, обеспечивая оптимальное распределение потоков воды по ширине и длине листа, а также необходимое соотношение расходов воды сверху и снизу в каждой зоне охлаждения. Высокое качество закалки толстых листов обеспечивается системой автоматического управления процессом охлаждения с использованием специально разработанного программного обеспечения [3,4].

В промышленных условиях закалке подвергались листы из сталей марок 15B28H, 15285QH, 30PM, S690QL и S960QL.

Листы после закалки в РЗМ характеризовались достаточно высокой равномерностью структуры и свойств по их площади и сечению. Колебания твердости по длине и ширине листов не превышала 2% от их средних значений. При этом обеспечивалась высокая плоскостность листов, что в ряде случаев практически исключало необходимость их дальнейшей правки (табл. 2).

Таблица 2

Плоскостность листов после закалки в роликовой закалочной машине на стане 2150 металлургического завода Stalowa Wola, Польша

Сталь	Температура нагрева, °С	Размеры листа, мм			Отклонение от плоскостности, мм		
		толщина	ширина	длина	Перед печью макс.	После закалки мин.-макс.	
					По длине	По ширине	По длине
1528H	860-890	30	1500	5200	10-10,4	0-4	2-8
S690QL	890-910	16	1500	6700	13,4	2-10	0-11
S690QL	880-900	20	2000	6400	18-19,2	0-8	0-10
S690QL	880-910	30	2000	5000	10-15	0-7	0-5

Закалка листов толщиной до 30мм из сталей 15B28H и 30PM обеспечивала их сквозную прокаливаемость с образованием мартенситной структуры по всему сечению. Твердость верхней и нижней поверхности листа практически

не отличалась и для стали 15B28H составляла 49-50HRC. При закалке листов из высокопрочных сталей S690QL и S960QL, характеризующихся низкой устойчивостью переохлажденного аустенита и требующих высоких скоростей охлаждения (не менее 80°С/с), обеспечивалось формирование мартенсито-бейнитной структуры без избыточного феррита. Появление бейнита наблюдалось в центральной части (по сечению) листов толщиной свыше 25мм в количестве не более 15%.

После закалки и отпуска все листы удовлетворяли требованиям зарубежных стандартов. Более того, на сталях S690QL и S960QL необходимый уровень механических свойств достигался при более низких значениях углеродного эквивалента.

В целом, эксплуатация РЗМ на металлургическом заводе Huta Stalowa Wola подтверждает высокую эффективность разработанной технологии закалки и возможность производства термоупрочненных толстолистовых сталей повышенного качества.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Высокопрочные стали для толстых листов, труб и профилей /М. Понтремоли, Л.Вебер, К.Дилг и др. // Черные металлы. -2006, №9. -С.58-66.
2. Патент Российской Федерации, RU23820870Г. Устройство для термообработки горячекатаного листа / Г.А.Суков, Ю.Н.Белобров,С.А.Гриценко и др. -2010, Бюл. №5.
3. Программное обеспечение автоматизированного рабочего места технолога роликовой закалочной машины / А.Л.Остапенко, А.В.Кузьмин, Э.Е.Бейгельзимер и др. // «Черметинформация», Бюл. «Черная металлургия» -2008, №8. –С.39-42.
4. Э.Е.Бейгельзимер. Математическая модель охлаждения листового металла в роликовой закалочной машине // «Черметинформация», Бюл. «Черная металлургия» -2008, №8. –С.49-53.