

УДК 621.771.23:621.785

**ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКАЛКИ  
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛИСТОВ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ  
СТАЛЕЙ ДЛЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

**к.т.н., доц. Н.Т. Егоров**

**Донецкий национальный технический университет**

В настоящее время, несмотря на кризис в ряде отраслей промышленности, по-прежнему сохраняется высокий спрос на толстолистовую низколегированную сталь повышенной и высокой прочности. Значительно расширилось ее применение в промышленном и гражданском строительстве, мосто- и судостроении, строительстве резервуаров для хранения нефти и газа, машиностроении [ 1 ].

За последние десять лет за рубежом предел текучести толстых листов для судостроения увеличился с 380 до 600 Н/мм<sup>2</sup>, для строительства мостов – до 500 Н/мм<sup>2</sup>. Это стало возможным в результате применения во все возрастающих объемах упрочняющей термической обработки.

К сожалению, в отечественной практике при производстве толстых листов основным видом их термической обработки является нормализация. Объем закалки с отпуском невелик и не превышает 10% общего объема производства термообработанного проката. Из-за использования устаревших оборудования и технологии степень упрочнения толстых листов из низколегированных свариваемых сталей после закалки с отпуском составляет в среднем не более 4-5%, к тому же наблюдается значительный разброс механических свойств. Максимальное колебание временного сопротивления разрыву и предела текучести достигает 140-250 Н/мм<sup>2</sup>, что превышает требования стандартов и приводит не только к повышенной отсортировке, но и к неоправданному расходу металла при изготовлении металлоконструкций [ 2 ].

Низкая степень упрочнения толстых листов и неоднородность свойств при значительных затратах на закалку с отпуском приводит некоторых руководителей металлургических предприятий к ошибочной мысли о неэффективности производства такого проката.

В то же время многочисленные данные зарубежных и отечественных исследователей убедительно показывают, что несмотря на дополнительные затраты, связанное с организацией производства термически улучшенного толстолистого проката, его применение более эффективно и экономично по сравнению с нормализованным металлом.

Так, по информации японских специалистов вес резервуаров для хранения нефти, выполненных из улучшенной толстолистовой стали с временным сопротивлением 600 Н/мм<sup>2</sup> на 10-20% меньше веса резервуаров при их изготовлении из нормализованной стали. Стоимость резервуаров при этом снижается до 15% [ 3 ].

Применение термоулучшенной толстолистовой стали 09Г2С при изготовлении экскаваторов Э-2503В и Э-250ВХЛ позволило Воронежскому экскаваторному заводу сократить расход металла на 20% [ 4 ]. Использование высокопрочных улучшенных сталей с пределом текучести 690-960 Н/мм<sup>2</sup> позво-

ляет уменьшить толщину листов при изготовлении сварных конструкций на 60-65% [ 5 ].

В условиях обострившейся конкуренции на рынке черных металлов, и сохранившегося высокого спроса на толстолистовой прокат, производство крупногабаритных листов из низколегированных свариваемых сталей приобретает особое значение.

Именно поэтому на многих металлургических предприятиях ведущих зарубежных фирм, в последние годы, выполнен большой объем работ по модернизации оборудования и совершенствованию технологии заковки толстых листов.

Важнейшими проблемами, возникающими при заковке толстых листов, являются недостаточная интенсивность и неравномерность охлаждения по сечению, что определяется, с одной стороны, удельным расходом воды, подаваемой на охлаждаемую поверхность, а с другой - прокаливаемостью сталей.

Следует отметить, что информация о прокаливаемости толстолистовых низколегированных сталей и влияние на нее технологических факторов заковки в настоящее время практически отсутствует. Это объясняется тем обстоятельством, что действующими стандартами заковка толстых листов фактически не рассматривается как упрочняющая обработка и применяется, главным образом, для обеспечения такого уровня свойств, который не более тонких листах обеспечивается после контролируемой прокатки или нормализации. По этой причине при производстве толстолистовых низколегированных сталей их прокаливаемость, как правило, не нормируется и не определяется, а существующие режимы заковки назначаются без учета этой важнейшей характеристики сталей, что приводит к низкому качеству термоулучшенного проката и неэффективному его использованию.

В данной работе представлены результаты исследований по изучению влияния условий охлаждения при заковке на прокаливаемость низколегированных свариваемых сталей 10ХСНД и 17Г1С, широко используемых при производстве толстых листов.

Прокаливаемость сталей определяли методом торцевой заковки (ГОСТ 5657) с использованием специальных образцов-вставок диаметром 6мм и длиной 100мм, которые были вырезаны из горячекатаных листов толщиной 12 и 20мм. Образцы помещали в отверстие сделанное в центральной части стандартного образца на прокаливаемость и подвергали охлаждению с различным удельным расходом воды, который изменялся в пределах от 24 до  $1030\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ .

На рисунке 1 приведены данные о прокаливаемости исследованных сталей при их заковке с различным удельным расходом воды, подаваемой на охлаждаемую поверхность. Видно, что толстолистовые низколегированные стали, в целом, характеризуются низкой прокаливаемостью.

Изучение микроструктуры образцов после торцевой заковки показало, что даже при очень интенсивном охлаждении с удельным расходом воды  $1030\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ , которое практически не достигается в реальных промышленных условиях, глубина закаленного слоя с бейнито-мартенситной структурой не превышает 3-5 мм. При дальнейшем удалении от охлаждаемой поверхности в

структуре образцов наряду с мартенситом и бейнитом появляется избыточный феррит, который, как известно, заметно снижает прочностные характеристики как закаленной, так и высокоотпущенной стали [ 6 ].

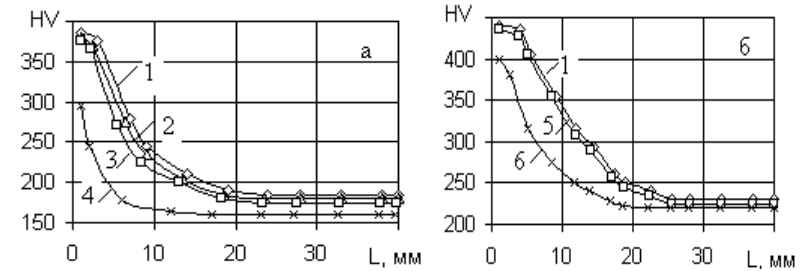


Рис.1. Прокаливаемость сталей 10XCHD(а) и 17Г1С(б) в зависимости от удельного расхода воды при закалке,  $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ : 1 – 1030; 2 – 294; 3 – 198; 4 – 121; 5 – 87; 6 – 24.

Максимальные значения прокаливаемости сталей 10XCHD и 17Г1С достигаются при закалке с удельным расходом воды 200-300 и 80-90  $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$  соответственно. Аналогичные результаты получены при изучении прокаливаемости толстолистовых низколегированных сталей 09Г2С, 09Г2 и 16ГС.

Существенное влияние на прокаливаемость сталей оказывает наличие окалины на поверхности листов. Окалина характеризуется низкой удельной теплопроводностью по сравнению со сталью и поэтому приводит к ухудшению условий охлаждения листов при закалке.

Влияние толщины окалины на прокаливаемость стали 10XCHD приведено на рисунке 2.

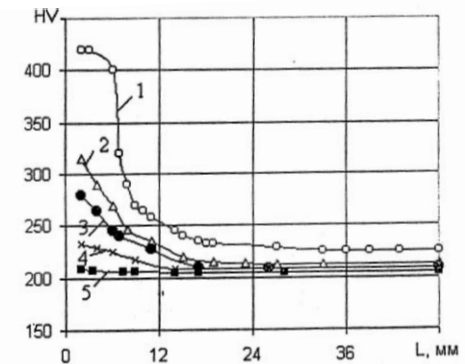


Рис. 2. Влияние на прокаливаемость стали 10XCHD толщины слоя окалины, мм: 1 – 0; 2 – 0,10; 3 – 0,25; 4 – 0,40; 5 – 0,45

Из представленных данных следует, что с увеличением толщины слоя окалины на поверхности листов прокаливаемость стали резко снижается. Так, в частности, если твердость закаленной стали на глубине 3-5 мм, которая не имела окалины, составляла 430-440 HV, то при слое окалины 0,10 мм она не превышала 300-320 HV. Увеличение толщины слоя окалины до 0,25 мм снижает твердость закаленной стали до 260-280 HV. При толщине окалины 0,45 мм эффект закалки полностью отсутствует.

Важнейшим параметром процесса закалки толстых листов, оказывающим решающее влияние на структуру и свойства улучшенных сталей, является скорость охлаждения. Анализ имеющихся в литературе термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита показывает, что для низкоуглеродистых и низколегированных сталей критические скорости закалки в интервале 800-400°C очень велики и достигают, в ряде случаев, 300-350°C/с и выше. Обеспечить такие скорости охлаждения при закалке крупногабаритных стальных листов в реальных промышленных условиях практически невозможно.

Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства толстолистовых низколегированных сталей 10ХСНД, 09Г2С и 16ГС показано на рисунке 3.

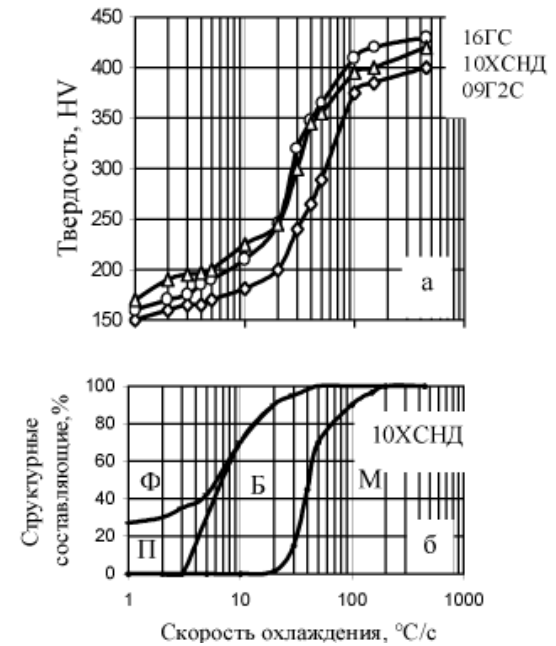


Рис. 3. Влияние скорости охлаждения на твердость (а) и структуру (б) толстолистовых сталей

Видно, что наиболее существенное повышение твердости в исследованных сталях достигается при закалке со скоростями охлаждения 80-100°C/с, при которых формируется бейнито-мартенситная структура без избыточного феррита. Дальнейшее повышение скорости охлаждения при закалке существенного влияния на твердость сталей не оказывает.

Повышение скорости охлаждения при закалке достигается увеличением удельного расхода воды. Исследования процесса охлаждения толстых листов с использованием компьютерного моделирования показало, что при двухсторонней струйной подаче воды на охлаждаемую поверхность скорость охлаждения 80-100°C/с на глубине 3-5 мм от поверхности достигается при удельном расходе воды сверху 80-100 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч, а снизу 150-220 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч. Дальнейшее увеличение расхода воды приводит к заметному повышению скорости охлаждения только поверхностных слоев металла и практически не оказывает влияния на интенсивность охлаждения сердцевины листов толщиной 20 мм и более. В этом случае значительно возрастает перепад температур по сечению закаливаемых листов и это неблагоприятно сказывается на их короблении. Определены необходимые и предельно допустимые скорости и длительность интенсивного охлаждения при закалке листов различной толщины, обеспечивающие максимальную их прокаливаемость, минимальное коробление и перепад температур по сечению, а также наиболее высокий уровень прочностных свойств.

Для реализации оптимальных режимов охлаждения при закалке толстых листов специалистами Новокраматорского машиностроительного завода (НКМЗ) и НПО «Доникс» разработана роликовая закалочная машина (РЗМ) новой конструкции, которая в 2007 году была установлена на толстолистовом стане 2150 металлургического завода Huta Stalowa Wola в Польше [ 7 ]. Машина позволяет в режиме двухстадийного охлаждения осуществлять закалку крупногабаритных листов из сталей различной степени легированности и назначения. Максимальный удельный расход воды, подаваемой на верхнюю поверхность закаливаемых листов в зоне интенсивного охлаждения достигает 300 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч, в зоне малоинтенсивного охлаждения – до 50 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч. Общий максимальный расход воды при закалке составляет 3400 м<sup>3</sup>/ч. Интенсивное и равномерное охлаждение с возможностью его регулирования в широких пределах обеспечивается применением в зоне интенсивного охлаждения щелевых и двухкамерных коллекторов специальной конструкции [ 8 ]. Необходимые технологические режимы охлаждения при закалке толстых листов обеспечиваются системой автоматического регулирования с использованием специально разработанных математических моделей и соответствующего программного продукта.

Освоение процесса закалки толстых листов показало высокую его эффективность и возможность производства высокопрочных низколегированных сталей с пределом текучести 860-960 Н/мм<sup>2</sup>, полностью удовлетворяющих требованиям зарубежных стандартов. При этом закаленные листы характеризовались высокой плоскостностью, что практически исключало необходимость их дальнейшей правки. Аналогичная роликовая закалочная машина изготовлена НКМЗ для стана 2800 металлургического комбината «Север-

сталь», Россия.

Учитывая тенденцию развития листопрокатного производства, которая ориентирована на увеличение выпуска толстых листов повышенной прочно-сти, необходимо приступить к реконструкции и модернизации отечественных толстолистовых станов, предусмотрев обязательное оснащение их современ-ными средствами для закалки крупногабаритных листов, что позволит укра-инским производителям успешно конкурировать с зарубежными фирмами на рынке этого перспективного вида металлопродукции.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Узлов И.Г. Термомеханическое упрочнение проката – эффективный путь энергосбережения и повышение качества металлопродукции //Металлургическая и горнорудная промышленность – 1999, №5. –С.61-64
2. Егоров Н.Т. Уровень качества термообработанного толстолистового про-ката, используемого в машиностроении и строительстве //Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научн. трудов – Донецк, ДонНТУ. -2002, вып. 20. –С.135-139.
3. Брик С.Д. Повышение качества проката из низколегированных сталей упрочняющей термической обработкой за рубежом // «Черметинформа-ция», Бюл. «Черная металлургия». – 2006, №1. –С.16-28.
4. Егоров Н.Т., Катрич В.Г. Технологии производства и эффективность применения термоупрочненного толстолистового проката в машино-строении //Машиностроение и техносфера в XXI веке: Сб.трудов межд.конференции – Донецк, ДонНТУ -2008. –С. 326-330.
5. Высокопрочные стали для толстых листов, труб и профилей /М. Понтре-моли, Л. Вебер, К. Дилг и др.// Черные металлы. -2006, №9. –С. 58-66.
6. Н.Т. Егоров, Оноприенко В.Г., Катрич В.Г. Влияние условий охлаждения при закалке на прокаливаемость толстолистовых низколегированных ста-лей //Машиностроение и техносфера в XXI веке: Сб.трудов межд.конференции – Донецк, ДонНТУ -2007. –С. 30-33.
7. Создание современного комплекса термообработки толстолистового про-ката на металлургическом заводе HSW – Huta Stali, Польша / Ю.Н. Бело-бров, С.А. Гриценко, В.И. Елецкий и др. // «Черметинформация», Бюл. «Черная металлургия». – 2008, №8. –С.36-39.
8. Патент Российской Федерации, RU 2382087. Устройство для термообра-ботки горячекатаного листа / Г.А. Суков, Ю.Н. Белобров, С.А. Гриценко и др. -2010, Бюл.№5