

вало высокую себестоимость южнорусского металла и кокса, особенно в сравнении с импортными. Отсутствие в рассматриваемый период таможенной защиты отечественного металлургического и коксового производства усугубляло положение.

Несмотря на то, что на Луганском заводе не смогли добиться в широких масштабах экономически выгодного производства чугуна на коксе, он тем не менее оказал значительное влияние на дальнейшее развитие коксовой металлургии и коксового производства. Ряд опытов по производству чугуна на коксе «уподоблялся лестнице, где с каждым шагом разрешалось какое-нибудь недоразумение, и вырабатывался непосредственно из практики новый факт» [19]. Объективные же возможности создания промышленного комплекса в Украине, появились лишь с победой капиталистического способа производства, с возникновением широкого рынка сбыта.

В связи с изложенным важно подчеркнуть еще такой факт. Бытовавшее в литературе утверждение о том, что якобы пионером металлургии чугуна на коксе в России является англичанин Джон Юз, первый директор-распорядитель металлургического завода Новороссийского общества, успешно применивший кокс для доменной плавки лишь в 1872 г., не соответствует действительности. Как видим, задолго до этого производство чугуна на донецком коксе проводилось на Луганском а впоследствии Керченском, Петровском и Лисичанском казенных заводах. На этих предприятиях осваивалась и совершенствовалась технология производства металла в конкретных условиях края, ковались местные кадры металлургов и коксовиков. Они сыграли важную роль в создании металлургии Украины.

Список литературы

1. Луганский областной государственный архив (ЛОГА), фонд 1, опись 1, дело 122, листы 153, 154.
2. ЛОГА, фонд 1, опись 1, дело 1, лист 19
3. Полное собрание законов Российской империи. Т. XXIII (1789–1796), №17408. — С. 815–817.
4. ЛОГА, фонд 1, опись 1, дело 345, листы 14, 33.
5. ЛОГА, фонд 1, опись 1, дело 157, лист 84.
6. Центральный государственный исторический архив России в Санкт-Петербурге (ЦГИАРСП-б), фонд 37, опись 11, дело 15, лист 193.
7. Лопатин Н.В. У колыбели Донбасса. — Луганск, 1960. — С. 47.
8. ЦГИАРСП-б, фонд 37, опись 11, дело 15, листы 69, 70.
9. ЦГИАРСП-б, фонд 37, опись 11, дело 248, листы 259, 260.
10. ЦГИАРСП-б, фонд 37, опись 11, дело 248, лист 360.
11. ЦГИАРСП-б, фонд 44, опись 3, дело 74, лист 214.
12. ЦГИАРСП-б, фонд 44, опись 2, дело 472, листы 5, 43.
13. ЦГИАРСП-б, фонд 44, опись 3, дело 79, лист 80.
14. Развитие металлургии в Украинской ССР. — Киев: Наукова думка, 1980. — 960 с.
15. ЛОГА, фонд 1, опись 1, дело 1, листы 35, 36.
16. ЛОГА, фонд 1, опись 1, дело 109, листы 4, 6.
17. ЛОГА, фонд 1, опись 1, дело 349, листы 227, 228.
18. ЦГИАРСП-б, фонд 37, опись 5, дело 499, листы 31, 35.
19. ЦГИАРСП-б, фонд 37, опись 11, дело 787, лист 261.

© Плакида Е.М., 2004

ЕГОРОВ Н.Т. (ДОННТУ)

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТОК ТОЛСТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Приведен анализ современного состояния термической и деформационно-термической обработки толстолистового проката на металлургических комбинатах

Украины и России. Рассмотрены перспективы энерго- и ресурсосберегающих интенсивных технологий упрочняющей обработки толстых листов в потоке и вне потока прокатных станков, показана возможность использования для этих целей деформации циклическим изгибом и явлений наследственности.

Развитие рыночных отношений в сфере производства и потребления металлопродукции характеризуется постоянно возрастающими требованиями к ее качеству. Из-за кризисных явлений в экономике, обусловленных падением внутреннего спроса и резким сужением рынков сбыта, объем производства готового проката в странах СНГ в настоящее время значительно снизился. В частности, производство проката в Украине в период 1990–1995 годы сократился с 38,6 до 16,6 млн. тонн.

Национальной программой развития горно-металлургического комплекса Украины до 2010 года предусматривается производство готового проката в объеме 20–22 млн. тонн, в том числе доля толстолистовой стали составляет 6,0 млн. тонн. Прогноз рынка черных металлов показывает, что высокая потребность в толстолистовом прокате в ближайшее десятилетие не только сохранится, но и будет возрастать.

В этой связи вопросы коренного повышения качества толстолистовой стали и обеспечения ей высокой конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках являются важнейшими приоритетными направлениями развития черной металлургии и металлургической науки.

Одним из путей повышения качества и конкурентоспособности толстолистового проката из углеродистых и низколегированных сталей является термическая и деформационно-термическая обработка. Это подтверждается устойчивой тенденцией увеличения выпуска термически и термомеханически упрочненного проката в мировой практике. Производство термообработанного толстолистового проката в Украине и СНГ в период стабильной работы отрасли также характеризовалось ежегодным ростом его объемов (таблица 1).

Основными производителями термообработанного толстолистового проката являются металлургические комбинаты «Азовсталь», Мариупольский им. Ильича, Алчевский, Орско-Халиловский, Череповецкий и завод «Амурсталь» на долю которых приходится около 80% всего производства.

Табл. 1. Объемы производства термообработанного толстолистового проката металлургическими предприятиями СНГ

| Виды термообработки | Годы и объем производства, тыс. т./% | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| | 1975 | 1980 | 1985 | 1989 |
| Нормализация | 3047,3 | 2996,2 | 3357,3 | 2977,7 |
| | 92,2 | 81,6 | 75,5 | 58,1 |
| Закалка с отпуском | 258,7 | 461,8 | 479,6 | 446,4 |
| | 7,8 | 12,6 | 10,8 | 8,7 |
| Термоупрочнение с прокатного нагрева | - | - | - | 542,2 |
| | - | - | - | 10,6 |
| Контролируемая прокатка | - | 210,2 | 608,6 | 1163,0 |
| | - | 5,8 | 13,7 | 22,6 |
| Всего | 3306 | 3668,2 | 4445,5 | 5129,3 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 |

Анализ максимально достигнутых объемов производства термообработанной толстолистовой стали показывает, что имеющееся на металлургических предприятиях оборудование и существующая технология позволяет сегодня производить около

6 млн. тонн термообработанного толстого листа, в том числе 3,3 млн. тонн или 55,5% приходится на долю Украины (таблица 2).

Табл. 2. Максимально достигнутые объемы производства термообработанного толстолистового проката из углеродистых и низколегированных сталей на металлургических предприятия России и Украины

| Металлургический комбинат, стан | Объем производства термообработанного листа, тыс.т.,% | | | |
|---|---|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| | Всего | В том числе по видам термообработки | | |
| | | Нормализация | Закалка с отпуском | Термоупрочнение с прокатного нагрева |
| «Азовсталь», стан 3600 | 1551,8 | 1255,6 | 123,1 | 173,1 |
| «Алчевский», стан 2800 | 26,0 | 21,0 | 2,1 | 2,9 |
| «Мариупольский им. Ильича», станы: 3000 | 523,9 | 494,4 | 29,5 | - |
| 4500 | 8,8 | 8,3 | 0,5 | - |
| Итого по Украине | 1144,7 | - | - | 1144,7 |
| | 19,2 | - | - | 19,2 |
| | 87,1 | 21,2 | 65,9 | - |
| | 1,5 | 0,4 | 1,1 | - |
| | 3307,5 | 1771,2 | 218,5 | 1317,8 |
| | 55,5 | 29,7 | 3,7 | 22,1 |
| «Орско-Халиловский», станы: 2800 | 720,1 | 557,6 | 118,2 | 44,3 |
| 800 | 12,1 | 9,4 | 2,9 | 0,7 |
| «Череповецкий», стан 2800 | 161,9 | 130,7 | 31,2 | - |
| | 2,7 | 2,2 | 0,5 | - |
| «Амурсталь», стан 2300 | 345,3 | 323,8 | 21,5 | - |
| | 5,8 | 5,4 | 0,4 | - |
| «Магнитогорский», стан 4500 | 256,6 | 196,3 | 60,3 | - |
| | 4,3 | 3,3 | 1,0 | - |
| Прочие | 367,9 | 321,4 | 46,5 | - |
| | 6,2 | 5,4 | 0,8 | 492,3 |
| | 805,9 | 285,8 | 27,8 | 8,2 |
| | 13,5 | 4,8 | 0,5 | - |
| Итого по России | 2657,7 | 1815,6 | 305,5 | 536,6 |
| | 44,5 | 30,4 | 5,1 | 10,0 |
| Всего | 5965,2 | 3586,8 | 524,0 | 1854,4 |
| | 100 | 60,1 | 8,8 | 31,1 |

Примечания: 1. Приведены объемы производства термообработанного толстолистового проката период наиболее устойчивой и стабильной работы металлургической отрасли (1985 – 1989 гг).
2. Для стана 3000 ММК им. Ильича указаны объемы контролируемой прокатки трубных сталей.

Наиболее распространенными видами термической обработки толстолистовой стали являются нормализация и контролируемая прокатка, удельный вес которых в общем объеме производства термообработанного проката достигают 80%, закалка с высоким отпуском и термоупрочнение с прокатного нагрева применяются в ограниченных объемах и составляют соответственно 8,8 и 11,9%.

Эффективность производства термообработанного толстолистового проката определяется уровнем его качества.

Проведенные нами исследования [1] показывают, что нормализованный толстолистовой прокат, производимый металлургическими предприятиями Украины и России, в целом характеризуется достаточно высоким комплексом механических свойств. Выход годного при производстве листов из углеродистых и низколегированных сталей толщиной 10–20 мм составляет 92–99%. С увеличением толщины листов величина отсортировки нормализованного проката из-за неудовлетворительных значений механических свойств возрастает и достигает 20%. Основной причиной отсортировки являются низкие значения прочностных характеристик и ударной вязкости, в том числе при испытании образцов с острым надрезом.

Нормализация по сравнению с горячекатаным состоянием незначительно снижает либо практически не изменяет прочностные характеристики толстолистовых сталей, повышая при этом их пластические и вязкие свойства. Результаты статистической обработки сдаточных испытаний на металлургических комбинатах «Азовсталь», Алчевском и Орско-Халиловском показывают, что средние значения механических свойств нормализованного толстолистового проката полностью удовлетворяют требованиям действующих стандартов. В то же время максимальный разброс прочностных свойств и ударной вязкости достаточно велик и составляет 90–150 Н/мм² и 60–125 Дж/см² соответственно, что является одной из основных причин, приводящих к отсортировке листов.

Закалка с отпуском, по сравнению с нормализацией, повышает прочностные свойства толстолистовой стали. Однако степень упрочнения невелика и составляет в среднем не более 4–5%, что указывает на недостаточную эффективность использования закалки с отпуском, как упрочняющей термообработки. Это объясняется тем, что закалке с отпуском, в основном, подвергаются листы толщиной более 20 мм, в то время как наибольший эффект упрочнения, в связи с низкой прокаливаемостью малоуглеродистых низколегированных сталей, достигается при меньших толщинах. Обращает внимание тот факт, что разброс механических свойств у термоупрочненной стали значительно больше, чем у нормализованного металла. Максимальные колебания временного сопротивления разрыву и предела текучести после закалки и отпуска достигают 140–250 Н/мм², что превышает требования стандартов и приводит к неоправданному расходу металла при проектировании металлоконструкций.

Современный уровень технологии термической обработки толстых листов определяется не только комплексом их механических свойств, но и энергоемкостью производства. Суммарный удельный расход энергии при производстве толстолистового проката на реверсивных станах составляет 2836–5790 МДж/т. Наиболее энергоемкими операциями технологического процесса производства толстых листов являются нагрев под прокатку и термическая обработка, доля которых в общих энергозатратах весьма значительна и достигает 50–90%. Удельный расход условного топлива при термической обработке толстых листов на металлургических комбинатах колеблется в пределах 78–135 кг на тонну готовой продукции.

Существенное снижение затрат при термической обработке толстых листов может быть обеспечено за счет совершенствования ее технологии и, в первую очередь, в результате оптимизации температурно-временных параметров нагрева. Расчеты показывают, что снижение температуры печи при нормализации и закалке с 950 до 900⁰С и уменьшение удельного времени нагрева с 1,5 до 1,0 мин/мм обеспечивают экономию условного топлива в размере 23–25 кг на тонну термообработанного листа.

К сожалению, вопросам расходования энергии при термической обработке толстолистовой стали многие годы должного внимания не уделялось. Энергетический кризис, который сегодня характерен для Украины и России, заставляет по-новому взглянуть на существующую технологию термической обработки толстолистового проката.

Традиционные виды термической обработки толстых листов, такие как нормализация и закалка с отпуском, в настоящее время уже не удовлетворяют ни производителей ни потребителей из-за значительных материальных и энергетических затрат на их проведение.

Значительная экономия энергии при термообработке достигается в результате эффективного использования тепла прокатного нагрева. Такая энергосберегающая технология термической обработки разработана и внедрена на стане 3600 металлургического комбината «Азовсталь» при нормализации толстых листов из углеродистых и низколегированных сталей в проходных роликовых печах [2].

Для получения оптимального уровня свойств, создания наиболее благоприятных условий перекристаллизации и максимального использования тепла прокатного нагрева температура предварительного подстуживания листов после горячей прокатки перед термообработкой ограничена в пределах $t. A_{Г1} - (50 \div 100)^{\circ}\text{C}$, что для большинства углеродистых и низколегированных сталей соответствует интервалу $500-550^{\circ}\text{C}$. Повышение температуры горячего посада до значений межкритического интервала приводит при последующей нормализации к снижению ударной вязкости до уровня горячекатаного металла, а иногда и ниже (таблица 3). Это объясняется тем, что процесс образования аустенита при фазовой перекристаллизации в этом случае не сопровождается ожидаемым измельчением зерен, а обуславливает их восстановление и укрупнение с образованием значительной разнорзернистости [3].

Табл. 3. Механические свойства толстых листов после нормализации в потоке стана с использованием горячего посада

| Температура посада листов в печь, $^{\circ}\text{C}$ | $\sigma_{\text{в}}$ | $\sigma_{\text{т}}$ | δ_5 | Ψ | КСУ, Дж/см ² при температурах, $^{\circ}\text{C}$ | | |
|--|---------------------|---------------------|------------|--------|--|-----|-----|
| | Н/мм ² | | % | | +20 | -40 | -60 |
| Сталь 10Г2С1 | | | | | | | |
| Б.н. | 578 | 420 | 28,0 | 53,4 | 70 | 39 | 33 |
| 20 | 540 | 400 | 30,7 | 59,5 | 91 | 62 | 50 |
| 500 | 540 | 393 | 31,0 | 60,0 | 95 | 68 | 52 |
| 550 | 536 | 400 | 32,0 | 61,0 | 98 | 75 | 51 |
| 750 | 565 | 387 | 26,0 | 49,0 | 65 | 37 | 25 |
| Сталь 10ХСНД | | | | | | | |
| Б.н. | 583 | 390 | 28,7 | 58,7 | 106 | 83 | 39 |
| 20 | 557 | 383 | 31,7 | 67,0 | 126 | 112 | 58 |
| 500 | 563 | 390 | 32,7 | 64,9 | 128 | 116 | 69 |
| 800 | 590 | 378 | 27,3 | 55,0 | 93 | 71 | 32 |
| Сталь 17ГС | | | | | | | |
| Б.н. | 560 | 360 | 29,7 | 53,0 | 84 | 51 | 32 |
| 20 | 560 | 383 | 31,0 | 57,0 | 99 | 70 | 51 |
| 500 | 553 | 380 | 31,5 | 58,3 | 103 | 80 | 65 |
| 550 | 555 | 378 | 31,2 | 58,2 | 101 | 79 | 63 |
| 800 | 562 | 369 | 28,7 | 52,8 | 80 | 52 | 29 |
| Б.н. – без нормализации (горячекатаное состояние). | | | | | | | |

При соблюдении оптимальных условий горячего посада ($500-550^{\circ}\text{C}$) нормализованный толстолистовой прокат характеризуется пониженной склонностью к хрупкому разрушению, а также более однородной и мелкозернистой феррито-перлитной структурой по сравнению с обычной нормализацией [4]. Ускоренное охлаждение листов после горячей прокатки до $650-730^{\circ}\text{C}$ способствует дополнительному улучшению прочностных и вязких свойств нормализованного металла.

Использование тепла прокатного нагрева при термической обработке толстых листов в проходных роликовых печах повышает их производительность на 30–40% и позволяет экономить при нормализации на каждой тонне 20–30 кг условного топлива.

Эффективность нормализации, как упрочняющей термической обработки, можно значительно повысить в результате применения ускоренного регулируемого охлаждения. Исследованиями установлено, что ускоренное охлаждение толстых листов с нормализационного нагрева со скоростями $17\text{--}20^\circ\text{C}/\text{с}$ до температур $670\text{--}730^\circ\text{C}$ приводит к измельчению феррито-перлитной структуры низколегированных сталей и повышению прочностных свойств на $10\text{--}12\%$, ударной вязкости в $1,3\text{--}1,5$ раза при сохранении высоких значений пластичности [5].

Применение регулируемого ускоренного охлаждения оправдывает энергетические затраты на проведение нормализации, поскольку при этом на $10\text{--}12\%$ возрастает экономия металла у потребителя.

Эффективным с точки зрения энерго- и ресурсосбережения является применения интенсивных технологий закалки и отпуска. Наиболее целесообразно при закалке толстых листов из низколегированных сталей использовать двухстадийное или прерванное охлаждение. Скорость интенсивного охлаждения при двухстадийной закалке выбирается с учетом устойчивости переохлажденного аустенита, исходя из необходимости получения бейнито-мартенситной структуры без избыточного феррита, и должна составлять не менее $60\text{--}80^\circ\text{C}/\text{с}$ в интервале температур $t. A_{r3} - M_n$. При температурах ниже $300\text{--}400^\circ\text{C}$ охлаждение следует проводить со скоростями $20\text{--}30^\circ\text{C}/\text{с}$. Для достижения максимальной прокаливаемости сталей суммарный расход воды при закалке листов в зоне интенсивного охлаждения должен быть не менее $200\text{--}250\text{м}^3/\text{м}^2\text{ч}$, а в зоне малоинтенсивного охлаждения — соответственно $60\text{--}80\text{м}^3/\text{м}^2\text{ч}$.

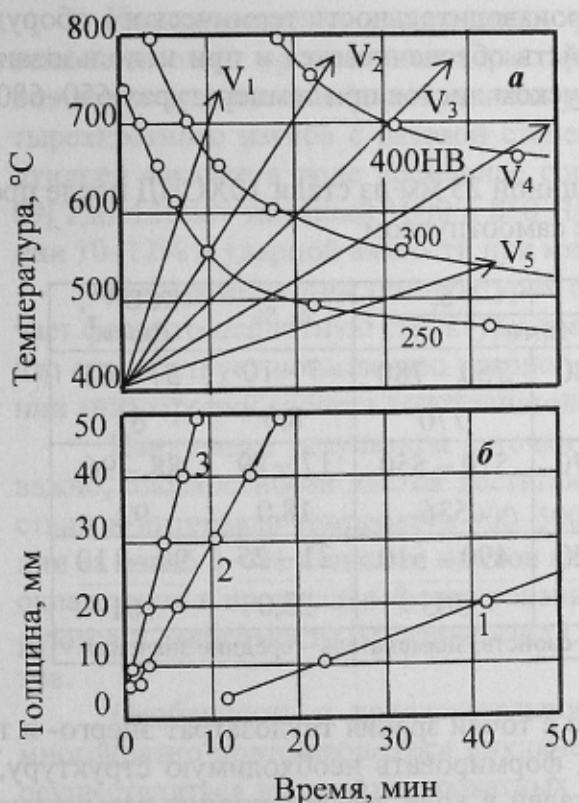


Рис. 1. Номограмма отпуска стали 17Г1С: *a* — изменение температуры отпуска, обеспечивающего твердость 200 НВ, в зависимости от длительности нагрева листов и твердости закаленной стали (цифры у кривых); *б* — влияние толщины листов на время их нагрева до 700°C в печи с температурой: 720°C (1), 950°C (2) и 1150°C (3)

Отпуск закаленных листов из углеродистых и низколегированных сталей осуществляется, как правило, при температурах $650\text{--}700^\circ\text{C}$ с продолжительностью нагрева $3\text{--}4$ мин/мм толщины. Однако, механические свойства термоупрочненной стали зависят не только от температуры и длительности отпуска, но, в значительной мере, и от характера исходной закаленной структуры [6]. В реальных условиях производства зависимость параметров отпуска от структурного состояния закаленной стали не учитывается, что приводит к значительным колебаниям прочностных, пластических и вязких свойств термоупрочненного толстолистового проката и, как следствие этого, к повышенной его отсортировке.

На рисунке 1 приведена зависимость температуры отпуска от его длительности для закаленных на различную твердость листов из стали 17Г1С.

Видно, что сокращение продолжительности отпуска может быть обеспечено только при одновременном увеличении его температуры, причем, в тем большей степени, чем выше исходная твердость закаленной стали. При обычном отпуске (температура печи 720°C) для листов толщиной свыше 15 мм, процессы, связанные со снижением твердости стали 17Г1С до тре-

буемых значений, успевают пройти во время их нагрева до температур 650–700⁰С.

Отпуск закаленных листов можно осуществлять путем форсированного нагрева, используя контролируемый перепад температур между металлом и нагревающей средой в начальной стадии процесса либо в течении всего цикла его проведения. Температура отпуска в этом случае должна быть на 50–70⁰С выше по сравнению с обычным нагревом и выбирается с учетом структур закалки, исходной твердости стали и толщины обрабатываемых листов. Такой отпуск в настоящее время успешно внедрен нами в термоотделениях станов 2800 и 800 Орско-Халиловского меткомбината, стана 2300 завода «Амурсталь».

При прерванной закалке с окончанием охлаждения в интервале 600–300⁰С температуру и скорость нагрева при отпуске следует устанавливать исходя из условий закалки, используя следующие зависимости [7]:

$$t_{\text{отп}} = 787,5 + 1,25V_{\text{охл}} - 0,25 \cdot t_{\text{к.охл}},$$

$$V_{\text{нагр}} = 410 - 2 \cdot V_{\text{охл}} - 0,4 \cdot t_{\text{к.охл}},$$

где $t_{\text{отп}}$ — температура отпуска, ⁰С; $V_{\text{нагр}}$ — средняя скорость нагрева листов при отпуске, ⁰С/мин; $V_{\text{охл}}$ — скорость охлаждения при закалке, ⁰С/с; $t_{\text{к.охл}}$ — среднemasсовая температура окончания ускоренного охлаждения, ⁰С.

Применение интенсивных режимов закалки и форсированного (ускоренного) отпуска снижает на 10–15% энергетические затраты при производстве толстолистовой стали и более чем в 2–3 раза увеличивает производительность термического оборудования. Высокий комплекс механических свойств обеспечивается и при использовании прерванной закалки с последующим самоотпуском листов при температурах 650–680⁰С (таблица 4).

Табл. 4. Механические свойства листов толщиной 25 мм из стали 10ХСНД после прерванной закалке с самоотпуском

| Температура, ⁰ С | | σ_b | σ_T | $\delta_5, \%$ | КCU ^{-40С} , Дж/см ² |
|-----------------------------|-------------|-------------------|------------|----------------|---|
| окончания закалки | самоотпуска | Н/мм ² | | | |
| 100-120 | 200-210 | 840 – 880 | 750 – 780 | 7 – 10 | 57 – 63 |
| | | 860 | 770 | 8,0 | 61 |
| 300-320 | 630-640 | 630 – 670 | 510 – 550 | 17 – 19 | 88 – 96 |
| | | 655 | 536 | 18,0 | 92 |
| 370-390 | 650-680 | 590 – 620 | 490 – 510 | 21 – 25 | 90 – 110 |
| | | 615 | 505 | 23,0 | 101 |

Примечание: числитель – пределы изменения свойств, знаменатель – средние значения.

Перспективно и экономически выгодно с точки зрения трудозатрат энерго- и топливостоекости, качества проката и экологии, формировать необходимую структуру, а следовательно и свойства толстолистовых сталей в ходе деформационно-термических обработок непосредственно в потоке прокатных станов.

Разработана и предложена для практического использования новая технология высокотемпературной деформационно-термической обработки (ВДТО) толстолистового проката, предусматривающая проведение регулируемой прокатки в интервале 1000⁰С — т.А_{г3} с суммарным обжатием в последних 2–3 проходах не менее 40–60% и ускоренного охлаждения как в процессе деформирования, так и после его завершения до температур, обеспечивающих распад аустенита в диффузионной области с формированием мелкозернистой феррито-перлитной структуры. Конкретные параметры ус-

коренного охлаждения определяются химическим составом стали и режимом предшествующей горячей деформации.

Опробование технологии ВТДО на станах 3000 Мариупольского металлургического комбината им. Ильича, а также 2800 и 800 Орско-Халиловского металлургического комбината подтвердило высокую ее эффективность по улучшению прочностных и вязких свойств толстолистового проката при низкой энергоемкости производства.

Так, в частности, у стали 09Г2С при производстве листов толщиной 20 мм было достигнуто повышение временного сопротивления разрыву и предела текучести на 50 и 70 Н/мм² соответственно, увеличение ударной вязкости при температуре испытания минус 60⁰С составило 25–30 Дж/см², а снижение критической температуры хрупкости достигло 20–30⁰С по сравнению с обычной технологией горячей прокатки.

Это позволило гарантировано, с надежностью 95%, на листах толщиной 20–22 мм из стали 09Г2С получать предел текучести не менее 410–430, временное сопротивление разрыву 500–520 Н/мм² и ударную вязкость при температуре испытания минус 60⁰С не менее 60 Дж/см². Потребность в толстолистовом прокате с пределом текучести 400–450 Н/мм² только для нужд строительства составляет 20–25% общей его потребности и будет увеличиваться в ближайшие годы [8].

Другим прогрессивным направлением развития деформационно-термической обработки толстолистовой стали является ее осуществление с использованием знакопеременной деформации циклическим изгибом в процессе горячей и теплой правки листов.

Исследованиями установлено, что деформация циклическим изгибом существенно повышает прочностные характеристики закаленной стали в результате измельчения зерна аустенита и формирования развитой субструктуры. Так, например, после четырехкратного изгиба с разовой степенью деформации 4,5% при 900–950⁰С и последующей закалке в воде временное сопротивление разрыву и предел текучести стали 09Г2С достигают значений 1000 и 850 Н/мм² соответственно при относительном удлинении 10–12% и ударной вязкости при минус 40⁰С не ниже 60–80 Дж/см².

Деформация при температурах 650–750⁰С ускоряет выделение феррита, измельчает феррито-перлитную структуру, уменьшает разнотерность и полосчатость стали, что способствует повышению ударной вязкости на 30–40% при одновременном снижении анизотропии свойств толстолистового проката.

Наилучшие результаты с точки зрения повышения прочности и, что особенно важно, плоскостности листов достигаются при управляемом деформационном воздействии в интервале температур 900–500⁰С с максимальной разовой степенью деформации за изгиб 3–4% и числом циклов изгиба не менее 7. Число циклов изгиба и условия охлаждения в процессе деформирования и после его завершения выбираются и регулируются в зависимости от марки стали, ее структуры и толщины обрабатываемых листов.

Особенность и привлекательность упрочняющей обработки с использованием многократно повторяющегося циклического изгиба заключается в том, что она может осуществляться вне линии прокатных станов, не осложняя их работу, а деформационное воздействие на листовую прокат производится без изменения его формы в достаточно широком температурном интервале, позволяющем эффективно управлять структурой и комплексом свойств углеродистых и низколегированных сталей. Это позволяет с минимальными затратами подвергать деформационно-термической обработки практически весь толстолистовой прокат, обеспечивая при этом значительную (до 50–70%) экономию энергозатрат, повышение прочностных характеристик стали на 20–30%, ударной вязкости в 1,5–2 раза при одновременном снижении легирующих элементов и высокой плоскостности листов.

Современное состояние и развитие производства толстолистового проката, а также стремление металлургических предприятий к максимальной экономии энергии

не только не должны приводить к снижению объемов упрочняющей обработки, а наоборот должны стимулировать внедрение научно обоснованных интенсивных технологий термической и деформационно-термической обработки, характеризующихся точностью производства, энергосберегающей направленностью и дающих конечный материалосберегающий эффект.

Список литературы

1. **Егоров Н.Т.** Уровень качества термообработанного толстолистового проката, используемого в машиностроении и строительстве // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. трудов — Донецк, ДонНТУ, 2002, вып. 20. — С. 135–139.
2. **Нормализация толстолистовой стали с использованием тепла нагрева перед прокаткой** / Подгайский М.С. Егоров Н.Т., Заннес А.Н. и др. // Бюллетень института «Черметинформация», 1975. — № 8. — С. 50–51.
3. **Егоров Н.Т., Алимов В.И.** Наследственность и аустенитизация толстолистовых низколегированных сталей // Металл и литье Украины, 2001. — № 3–4. — С. 32–35.
4. **Егоров Н.Т., Гулевский А.С.** Влияние режима нормализации на низкотемпературную прочность и склонность к хрупкому разрушению толстолистовой стали 10ХСНД // Известия академии наук СССР. Металлы, 1985. — № 5. — С. 134–136.
5. **Тюрин Н.Ф., Плеханов Г.П., Егоров Н.Т. и др.** Ускоренное охлаждение толстолистового низколегированного проката при нормализации // Сталь, 1989. — № 7. — С. 64–66.
6. **Егоров Н.Т. Разумова Л.И.** Исследование влияния режимов отпуска на механические свойства закаленной толстолистовой стали. // В кн. Совершенствование технологии прокатки, термообработки и отделки толстолистового проката. — М., «Металлургия», 1987. — С. 81–84.
7. **Способ термической обработки малоуглеродистой стали** / П.И. Гуркалов, Г.Н. Мулько, З.К. Шафигин и др. // патент России, № 2082768, 1997. — Бюл.№18.
8. **Бабаев А.В., Чаленко М.Н.** Термоупрочненный прокат — резерв снижения материалоемкости национального дохода // Сталь, 1990. — № 1. — С. 71–74

© Егоров Н.Т., 2004