

Н.Т. Егоров**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И
ДЕФОРМАЦИОННО – ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ТОЛСТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ МАССОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ***Донецкий технический университет*

Приведен анализ современного состояния и рассмотрены перспективы энерго- и ресурсосберегающие технологии упрочняющей обработки толстых листов в потоке и вне потока прокатных станов, 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. Прогноз рынка черных металлов показывает, что в ближайшие десятилетия сохранится высокая потребность отраслей народного хозяйства в толстолистовом прокате.

Эффективными способами повышения качества толстолистого проката из углеродистых и низколегированных сталей являются термическая и деформационно – термическая обработки. Производство термообработанного толстолистого проката в Украине и СНГ в период устойчивой и стабильной работы металлургической отрасли характеризовалось достаточно заметным ежегодным ростом его объемов, о чем свидетельствуют данные, представленные в табл.1.

Основными производителями термообработанного толстолистого проката являются металлургические комбинаты «Азовсталь», Мариупольский им. Ильича, Алчевский, Орско – Халиловский, Череповецкий и завод «Амурсталь» на долю которых приходится около 80% всего производства. Анализ максимально достигнутых объемов производства термообработанной толстолистовой стали на этих предприятиях показывает, что имеющиеся 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.

Наиболее распространенными видами термической обработки толстолистовой стали являются нормализация и закалка с высоким отпускком, удельный вес которых в общем объеме производства термообработанного проката составляет около 70%, термоупрочнение с прокатного нагрева и контролируемая прокатка применяются в ограниченных объемах и составляют соответственно 11,9 и 19,2%. Эффективность производства термообработанного толстолистого

проката во многом определяется уровнем его качества.

Таблица 1. Объемы производства термообработанного толстолистового проката из углеродистых и низколегированных сталей на металлургических предприятиях СНГ

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

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%. 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, по всей видимости, и 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 %. Обращает внимание также 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 $140 - 250 \text{ Н/мм}^2$, что превышает требования стандартов и приводит к неоправданному расходу металла при проектировании металлоконструкций.

В последние годы в металлургической промышленности произошли значительные изменения. Прогнозируемый ранее рост производства стали и готового проката не оправдался, да и вряд ли он сегодня необходим исходя из реалий рыночной экономики. Из-за кризисных явлений в экономике, обусловленных падением внутреннего спроса на металлопродукцию и резким сужением рынков потребления, объем производства готового проката в странах СНГ значительно снизился. В частности, производство проката на Украине в период 1990 – 1995 годы сократилось с 38,6 до 16,6 млн. тонн.

Национальной программой развития горно – металлургического комплекса Украины до 2010 года предусматривается производство готового проката в объеме 20,0 млн. тонн, в том числе доля толстолистовой стали составляет 6,0 млн. тонн, что соответствует ее реальному потреблению и экспорту. Существенным ограничением потребления и экспорта толстолистого проката является высокая его стоимость. При этом значительный удельный вес (около 30 – 40%) в себестоимости толстолистовой стали составляют расходы на энергию. Суммарный удельный расход энергии при производстве толстолистого проката на реверсивных станах колеблется в достаточно широких пределах и 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%. В этой связи современный уровень технологии термической обработки толстых листов определяется не только комплексом их механических свойств, но и энергоемкостью производства.

Анализ структуры топливо – энергетических расходов при термообработке толстолистого проката на металлургических комбинатах «Азовсталь», Алчевском, Орско– Халиловском, Череповецком и заводе «Амурсталь» показал, что основные энергетические затраты (99,9%) приходятся на технологическое топливо. В связи с использованием на металлургических комбинатах различных видов топлива (природный, доменный, коксовый газы, мазут) технологическая энергоемкость термической обработки толстолистого проката наиболее целесообразно оценивать удельным расходом условного топлива.

В таблице 2 приведены данные об удельных расходах условного топлива на толстолистных станах по видам термической обработки. Видно, что удельный расход топлива при термической обработке толстых листов на металлургических комбинатах достаточно велик и колеблется в пределах 78 – 135,3 кг на тонну готовой продукции. Наиболее

энергоёмкими операциями термической обработки толстых листов являются отпуск и отжиг. 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.

Таблица 2. Удельный расход условного топлива по видам термической обработки толстолистового проката

Металлургический комбинат, стан	Удельный расход условного топлива, кг/т				
	Всего	В том числе по видам термообработки			
			закалка	отпуск	отжим
«Азовсталь», стан 3600	135,3	$\frac{87,8}{1,54}$	$\frac{137,5}{2,0}$	$\frac{198,6}{3,3}$	—
Алчевский, стан 2800	85,7	$\frac{67,8}{1,47}$	$\frac{80,5}{1,76}$	$\frac{143,6}{3,75}$	$\frac{449,8}{8,65}$
Орско – Халиловский, стан 2800	78,0	$\frac{73,5}{1,5}$	$\frac{78,9}{1,76}$	$\frac{154,7}{3,6}$	—
Череповецкий, стан 2800	107,0	$\frac{71,2}{1,55}$	$\frac{79,3}{1,8}$	$\frac{121,6}{3,0}$	—
«Амурсталь», стан 2300	123,0	$\frac{89,1}{1,0}$	$\frac{100,7}{1,75}$	$\frac{102,4}{1,8}$	—

Примечание: Числитель – удельный расход условного топлива, знаменатель – средний коэффициент трудоемкости данного вида термообработки.

К сожалению вопросам расходования энергии при термической обработке толстолистовой стали многие годы должного внимания не уделялось. В настоящее время энергетический кризис, который сегодня характерен для Украины и России, заставляет по – новому взглянуть на технологию термической обработки толстолистового проката. Традиционные виды термической обработки толстых листов, такие как нормализация и закалка с отпуском и существующая технология 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 $t. A_{r1} - (50 \div 100)^{\circ}\text{C}$, 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. Это обусловлено тем, что процесс образования аустенита при фазовой перекристаллизации в этом случае не сопровождается ожидаемым измельчением зерен, а обуславливает его восстановление и укрупнение с образованием значительной разнотерности [3].

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]. 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 $17-20^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до температур $670-730^{\circ}\text{C}$ приводит к измельчению феррито – перлитной структуры низколегированных сталей и повышению прочностных свойств на 10–12%, ударной вязкости в 1,3–1,5 раза при сохранении высоких значений пластичности [5]. Применение регулируемого ускоренного охлаждения оправдывает энергетические затраты на проведение нормализации, поскольку при этом на 10–12% возрастает экономия металла у потребителя.

Эффективным с точки зрения энерго– и ресурсосбережения является применения интенсивных технологий закалки и отпуска. Исследованиями установлено, что 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 бейнита – мартенситной структуры без избыточного феррита, и составляет не менее $60-80^{\circ}\text{C}/\text{с}$ в интервале температур $t. A_{r3} - M_n$. При температурах ниже $300-400^{\circ}\text{C}$ охлаждение

следует проводить со скоростями 20–30°С/с. Для достижения максимальной прокаливаемости сталей суммарный расход воды при закалке листов в зоне интенсивного охлаждения должен быть не менее 200–250 м³/м²ч., а в зоне малоинтенсивного охлаждения – соответственно 60 – 80 м³/м²ч.

Отпуск закаленных листов лучше всего осуществлять путем форсированного нагрева, используя контролируемый перепад температур между металлом и нагревающей средой в начальной стадии нагрева либо в течении всего цикла проведения. Температура отпуска в этом случае на 20–50°С выше по сравнению с обычным нагревом и выбирается с учетом структур закалки, химического состава сталей и толщины обрабатываемых листов. Такой отпуск в настоящее время успешно внедрен в термоотделениях станов 2800 и 800 Орско – Халиловского комбината, стана 2300 завода «Амурсталь».

При прерванной закалке с окончанием охлаждения в интервале 600–300°С температуру ускоренного отпуска устанавливают в зависимости от условий закалки по формуле [6]:

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

где $V_{охл}$ – скорость охлаждения при закалке, °С/с;

$t_{к.охл}$ – среднемассовая температура окончания интенсивного охлаждения, °С.

Применение интенсивных режимов закалки и ускоренного отпуска снижает на 10–12 % энергетические затраты при производстве толстолистовой стали и более чем в 2 – 3 раза увеличивает производительность термического оборудования.

Перспективно и экономически выгодно с точки зрения трудозатрат энерго– и топливоемкости, качества проката и экологии, формировать необходимую структуру, а следовательно и свойства толстолистовых сталей в ходе деформационно – термических обработок непосредственно в потоке прокатных станов. В практике производства толстолистового проката, для достижения необходимого комплекса свойств, широкое развитие получила контролируемая прокатка. Контролируемой прокаткой в настоящее время преимущественно подвергаются листы из трубных марок стали, микролегированных карбидо– и нитридообразующими элементами. Высокая прочность, пластичность и ударная вязкость сталей обеспечивается созданием развитой субструктуры, выделением дисперсных карбидов или карбонитридов и измельчением зерна, что достигается окончанием прокатки при низких температурах. Для получения мелкозернистой структуры контролируемую прокатку обычно стремятся завершить в двухфазной $\gamma + \alpha$ – области, что не всегда возможно на многих действующих станах, не рассчитанных на такой температурный режим. Более того, контролируемая прокатка с ее завершением при низких температурах вызывает ряд структурных

изменений, которые могут неблагоприятно сказываться на эксплуатационных характеристиках проката.

Так, металл листов после низкотемпературной контролируемой прокатки характеризуется ярко выраженной структурной неоднородностью в виде чередующихся полос феррита и перлита, причем перлитные полосы имеют достаточно большую протяженность – до несколько сотен мкм. Ширина перлитных полос в направлении толщины листа составляет 4 – 7 мкм. Ориентированные зерна феррита имеют развитую текстуру. Такая структурная неоднородность является основной причиной возникновения анизотропии механических свойств в листах и готовых трубах, особенно заметно это проявляется на показателях ударной вязкости (таблица 3).

Таблица 3. Среднее значение коэффициентов анизотропии показателей ударной вязкости сталей в листах после контролируемой прокатки

Марка стали (изготовитель)	Коэффициент анизотропии для показателя		
	KCV – 20 ⁰ C Дж/см ²	KCV – 60 ⁰ C Дж/см ²	KCU – 60 ⁰ C Дж/см ²
10Г2ФБ (МК им. Ильича)	1,85	2,01	1,45
13Г1С–У (МК им. Ильича)	1,60	2,02	1,84
Х–70 (Австрия)	1,24	2,29	1,16
Х–70 (МК Азовсталь»)	1,447	1,83	1,26

Наряду с низкотемпературной контролируемой прокаткой существует и другой путь получения мелкозернистой структуры в толстолистовых сталях, основанный на распаде мелкозернистого аустенита, полученного при высокотемпературной деформации в результате управляемого протекания процессов рекристаллизации. Степень измельчения аустенитного зерна при горячей прокатке определяется ее температурно – деформационными параметрами и условиями последеформационного охлаждения. Наибольшее измельчение аустенитного зерна в обычных низкотемпературных сталях происходит при температурах деформации 850 – 900⁰C и суммарной степени обжатия не менее 40%. Дальнейшее повышение степени деформации существенного влияния на размер зерна аустенита не оказывает. Это объясняется существованием критического (предельно минимального) размера аустенитного зерна, величина которого для стали 09Г2 составляет 15 – 20 мкм. Аналогичный минимальный размер аустенитного зерна получен также при горячей деформации низколегированных сталей 10ХСНД и 09Г2С.

Структура и свойства толстолистовых сталей при контролируемой

прокатке в значительной мере зависят от состояния горячедеформационного аустенита. В процессе последеформационных пауз и последующего охлаждения при высокотемпературной прокатке в обычных низколегированных сталях, не содержащих специальных карбидо- и нитридообразующих элементов, интенсивно развивается рекристаллизация, которая в конечном счете и предопределяет размер аустенитного зерна перед началом $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращения. Исследования кинетики распада деформационного аустенита в этих сталях показали, что горячая пластическая деформация снижает устойчивость аустенита и способствует его распаду при более высоких температурах. Так снижение температуры деформации с 1000 до 800⁰С повышает критические точки стали 09Г2 при охлаждении на воздухе на 30 – 35⁰С. Рекристаллизация горячедеформированного аустенита при температурах 800⁰С и ниже в этом случае полностью подавляется.

Изучение структуры стали в зависимости от скорости охлаждения после горячей деформации показало, что процесс рекристаллизации аустенита, деформированного при температурах выше 900⁰С с обжатиями 30% и более, протекает с высокими скоростями и при охлаждении листов на воздухе ($V_{\text{охл}} = 0,5 - 1^{\circ}\text{C}/\text{с}$) успевает пройти полностью до начала $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращения. При этом частично развивается собирательная рекристаллизация, способствующая формированию более крупного зерна аустенита по сравнению с ускоренным охлаждением. Заметное проявление эффекта горячей деформации, выражающееся в повышении температуры начала $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращения (точка $A_{\text{Г3}}$), проявляется при скоростях охлаждения более 5 – 6 ⁰С/с. Увеличение скорости охлаждения до 20⁰С/с и выше позволяет при высокотемпературной прокатке не только получить, но и сохранить в низколегированной стали 09Г2 достаточно мелкое (15–20 мкм) зерно аустенита к моменту начала $\gamma \rightarrow \alpha$ – превращения.

При величине аустенитного зерна 20 мкм и менее размер получаемого зерна феррита практически одинаков, как при распаде полностью рекристаллизованного, так и деформированного (не рекристаллизованного) аустенита и составляет для стали 09Г2 около 7 – 9 мкм в зависимости от условий охлаждения. Причем, что очень важно, феррито–перлитная структура формирующаяся при распаде такого мелкозернистого аустенита характеризуется высокой однородностью, как в части размера зерна, так и строения перлита. В этой связи очевидно, что стремление к снижению температуры прокатки при производстве толстых листов ниже температуры рекристаллизации, как в равной мере и дополнительное легирование стали с целью повышения температуры рекристаллизации, не всегда оправдано и научно обосновано.

Разработана и предложена для практического использования новая технология высокотемпературной деформационно–термической обработки (ВДТО) толстолистовой стали, предусматривающая

проведение рекристаллизационной контролируемой прокатки в интервале 1000°C – т. A_{F3} с суммарным обжатием в последних 2 – 3 проходах не менее 40 – 60% и ускоренного охлаждения со скоростями 15 – $25^{\circ}\text{C}/\text{с}$, до температур, обеспечивающих распад аустенита в диффузионной области с формирование мелкозернистой феррито–перлитной структуры. Конкретные параметры ускоренного охлаждения определяются химическим составом стали и режимом предшествующей горячей деформации.

Опробование технологии ВДТО 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 $70 \text{ Н}/\text{мм}^2$ соответственно, увеличение ударной вязкости при температуре испытания минус 60°C составило 0,25 – 0,30 МДж/ м^2 , а снижение критической температуры хрупкости достигло 20 – 30°C 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 $\text{Н}/\text{мм}^2$ и ударную вязкость при температуре испытания минус 60°C не менее 0,6 МДж/ м^2 .

Другим прогрессивным направлением развития деформационно–термической обработки толстолистовой стали является ее осуществление с использованием знакопеременной деформации циклическим изгибом. Особенность и привлекательность такой технологии заключается в том, что она может осуществляться вне линии прокатных станов, не осложняя их работу, а деформационное воздействие на листовой прокат производится без изменения его формы путем многократно повторяющегося циклического изгиба. Исследованиями [7] установлено, что наилучшие результаты с точки зрения повышения прочности и, что особенно важно, плоскостности листов достигаются при управляемом деформационном воздействии в интервале температур 900 – 500°C 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.

Проведение такой совмещенной технологии деформационно–термической обработки возможно в агрегатах роликового типа, состоящих из правильно–охлаждающих и охлаждающих секций и содержащих типовые элементы роликовых закалочных и правильных машин. Оснащение толстолистовых станов агрегатами совмещенной

обработки 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.

Использование деформации циклическим изгибом позволяет, при существующей компоновке прокатных станов, реализовывать новую технологию деформационно–термической обработки с промежуточной фазовой перекристаллизацией, которая по сравнению с обычной прокаткой обеспечивает получение более мелкого зерна, более развитой субструктуры и лучшее сочетание прочностных и вязких свойств у простых по составу сталей. Схемы интенсивных технологий деформационно–термической обработки толстолистовых низколегированных сталей приведены на рисунке.

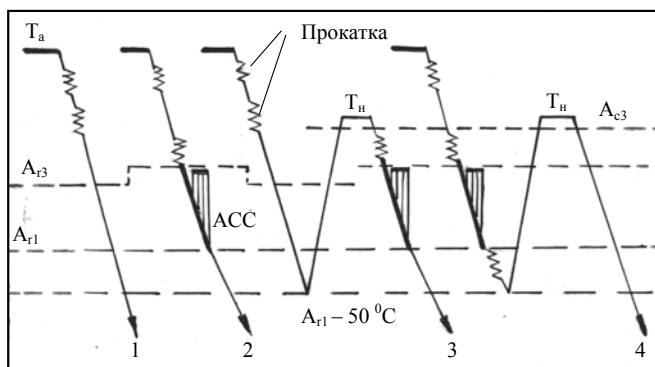


Рисунок Схемы интенсивных деформационно–термических обработок толстолистовой стали:

1 – обычная прокатка; 2 – ВДТО; 3 – ВДТО с промежуточной перекристаллизацией; 4 – ВДТО, совмещенная с

термообработкой и тепловой деформацией. T_a – температура аустенитизации; T_n – температура нормализации; ACC – ускоренное охлаждение.

Благоприятное влияние на структуру и свойства толстолистовых сталей оказывает совмещение высокотемпературной контролируемой прокатки с термической обработкой в потоке прокатных станов и предварительной тепловой деформацией в субкритическом (ниже точки A_{r1}) интервале температур. Предварительная деформация при 600°C с обжатием 30% повышает ударную вязкость нормализованной стали 09Г2 при отрицательных температурах испытания в 1,8 – 2,0 раза, способствует получению более стабильных результатов термообработки и сокращению затрат на ее проведение вследствие ускорения процессов структурной и фазовой перекристаллизации.

Таким образом, современное состояние металловедения и знание

процессов структурообразования при горячей пластической деформации позволяют сегодня успешно реализовать при производстве толстых листов научно обоснованные интенсивные технологии термической и деформационно–термической обработки, характеризующиеся поточностью производства, энергосберегающей направленностью и дающие конечный материалосберегающий эффект. Можно с уверенностью сказать, что настало время новых технологий, основанных на использовании металлогенетической преемственности обработок и явлений наследственности, которые не только можно, но и нужно широко применять для улучшения потребительских свойств проката.

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.* Особенности аустенитизации толстолистовых низколегированных сталей с феррито–перлитной структурой// Сб. научн. трудов ДонНТУ, 2001.– С.67–71.
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. *Способ термической обработки малоуглеродистой стали/ П.И. Гуркалов, Г.Н. Мулько, З.К. Шафигин и др.*// Патент России, №2082768.–1997.– Бюл.№18.
7. *Долженков Ф.Е., Подгайский М.С., Следнев А.П.* Возможности и пути реализации совмещенной обработки толстолистового проката// «Сталь».– 1987. – №4 – С. 84–85.