

*инженер Давыдов И.Е.,
инженер Ракова И.В.,
инженер Филимонов И.Г.,
к.т.н., доц. Луцкий М.Б
(ОАО «АМК», г. Алчевск, Украина),
д.т.н., проф. Луценко В.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ПО РЕЖИМУ НОРМАЛИЗАЦИИ С ПРОКАТНОГО НАГРЕВА В ПРОХОДНОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕЧИ НА СТАНЕ 2250

Приведені результати експериментальних досліджень можливості отримання необхідного рівня механічних властивостей листів з низьколегованої сталі при термообробці з прокатного нагріву.

Основными задачами при производстве прокатной продукции, в том числе и листовой, является обеспечение высокого качества при минимальных затратах и максимальной производительности. Одним из наиболее распространенных путей получения необходимого уровня механических свойств горячекатаного проката является его термическая обработка по различным технологическим процессам. Однако, как правило, термическая обработка связана с достаточно высоким расходом энергии и отличается низкой производительностью и, кроме этого, требует наличия специального оборудования.

Известные виды термической обработки заключаются в нагреве до аустенитного состояния и последующим охлаждением с различной скоростью.

Классическая нормализация с отдельного нагрева на ОАО «АМК» проводится в условиях толстолистого стана 3000. Данный вид термической обработки обеспечивает получение необходимого уровня механических свойств и структуры металла, однако имеет и свои недостатки, такие как необходимость иметь в своём составе большое количество термических печей, повышенный расход электроэнергии и топлива на нагрев проката практически с нуля, также повышенное окалинообразование, которое приводит к появлению дефектов на листах в виде раковин - вдавов, получаемых после правки в роликоправильных машинах.

Возможно проведение классической нормализации и на стане 2250 ОАО «АМК», однако область её применения резко ограничена и, неизбежно влечёт за собой необходимость перепланирования производственного процесса под данный вид термической обработки, дополнительные крановые операции по схеме листоотделка – стан – печь. Поэтому альтернативой классической нормализации с отдельного нагрева является нормализация с использованием стартового тепла прокатного нагрева 550-750°С в потоке прокатного стана. В связи с тем, что горячая прокатка на стане 2250 ОАО «АМК» производится при температурах, соответствующих температурам термической обработки или незначительно отличающихся от них, целесообразным является осуществление термическую обработку металлопроката непосредственно с прокатного нагрева [1].

Следует отметить, что технология нормализующей прокатки по температурному режиму и структуре применима для толщин более 5 мм и представляет собой процесс прокатки, осуществляемый в нижней области стабильного аустенита с целью получения структуры и свойств аналогичных полученным после нормализации. Таким образом, сортмент листов толщиной 4-5 мм в состоянии поставки нормализации или нормализующей прокатки исключается из наряд-заказов.

Кроме этого, не все стандарты допускают замену нормализации нормализующей прокаткой. Например невозможна замена нормализации нормализующей прокаткой по стандартам Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM), марка стали ASTM A516/A516M которая требует проведения только нормализации [2].

Анализ литературных источников по вопросу термообработки с прокатного нагрева показал, что подавляющее большинство трудов посвящено путям интенсификации технологии упрочнения стального проката методом закалки с прокатного нагрева, с целью получения более высокого комплекса механических свойств [3].

Что касается нормализации прокатного нагрева, то известен способ получения высоких характеристик ударной вязкости на уровне 0,74МДж/м² и улучшенной пластичности методом регулируемого охлаждения листов марки 17Г1С толщиной 20мм перед нормализацией с горячего посада в потоке стана 3600 комбината "Азовсталь". При этом, мониторинг вязкопластических характеристик на стане 3600 комбината "Азовсталь" производился как после классической нормализации с холодного посада, так и после регулируемого охлаждения с последующей нормализацией с прокатного нагрева [4].

Задачей данной работы является исследование возможности получения листов с требуемым уровнем механических свойств за счет

применения нормализации с прокатного нагрева для условий стана 2250 ОАО АМК.

В условиях стана 2250 прокатывались и термообрабатывались с использованием тепла прокатного нагрева плавки, марка стали ASTM A516-70, толщины листов 6,35; 8; 10; 12мм. Для сравнительного анализа результатов нормализации с прокатного нагрева и классической нормализации на стане 3000 производилась прокатка и термообработка листа толщиной 10 мм аналогичной марки стали.

Режим нормализации с прокатного нагрева на стане 2250.

- начальная температура металла перед печью 680 –750°C;
- температура проходной роликовой печи по зонам 940°C;
- температура металла на выдаче 850-860°C ($A_{c3}=842^{\circ}\text{C}+10\dots 20^{\circ}\text{C}$).

Режим классической нормализации на стане 3000.

- температура в термической печи по зонам 920°C;
- температура металла на выдаче 890°C;
- удельное время нагрева 2 мин/мм.

Результаты опытно-промышленной прокатки и термообработки листов приведены в таблице 1.

Видно, что в результате термической обработки листов толщиной 6,35; 8; 10; 12мм на стане 2250 ОАО «АМК» по режиму нормализации с прокатного нагрева получены стабильные механические свойства по результатам испытания металла на разрыв: по пределу текучести $\sigma_T=401-442\text{МПа}$ при стандартном значении не менее 260МПа, временному сопротивлению $\sigma_B=574-593\text{МПа}$ при стандартном значении 485-620МПа, и относительному удлинению $\delta_5=23,5-26,0\%$ при норме не менее 17,0%. Сравнение полученных значений с результатами механических испытаний проведенных после классической нормализации листа толщиной 10мм, марка стали ASTM A516-70 на стане 3000 ОАО «АМК» позволяет сделать вывод о том, что эти значения являются эквивалентными и полностью соответствуют требованиям стандарта спецификации ASTM A516/A516M.

Параллельно с оценкой механических свойств производились металлографические исследования.

Микроструктура металла, термообработанного на стане 2250, феррито-перлитная. Зерно 10-9-8 балла по 10-ти бальной шкале ГОСТ 5639 (рис.1-5). Сравнивая микроструктуру листа толщиной 10 мм, нормализованного на стане 3000, с микроструктурой металла от листа толщиной 8 и 10мм, нормализованного с прокатного нагрева на стане 2250, необходимо отметить, что структуры эквивалентны т. е. зерно 10-9 балла с полосчатостью до 2,5 балла по 5-ти бальной шкале ГОСТ 5640.

Таблица 1 – Результаты опытно-промышленной прокатки и термообработки листов толщиной 6,35, 8, 10, 12 мм на стане 2250 и листа толщиной 10мм на стане 3000 из стали марки А516-70

Контролируе-мый пара-метр	Стан 2250				Стан 3000
	Толщина листа, мм				
	6,35	8	10	12	10
$T_{\text{нач. прок.}}^{\circ}\text{C}$	1000	1020	1000	1000	Прокатка на стане 3000
$T_{\text{кон. прок.}}^{\circ}\text{C}$	820	830	840	840	
Отн. обжатие в последнем проходе, %	-	18	18	18	
$T_{\text{печи}}^{\circ}\text{C}$	940	940	940	940	920
$T_{\text{мет. на выдаче}}^{\circ}\text{C}$	860	850	860	860	890
Зерно на поверхности	10 – 9	10	9	9 – 8	10
Зерно в центре.	10 – 9	10	90	8 – 9	10 – 9
G_T , МПа	442	412	401	404	398
G_B , МПа	580	593	574	588	568
δ_5 , %	23,5	24,5	24,5	26	25

Химический состав плавов С=0,22%, Мn=1,15-1,17%, Si=0,32-0,33%, V=0,015%, Al=0,023-0,028%)

Кроме того, с целью проверки устойчивости первоначальной структуры к повторной термообработке листов толщиной 8мм, марка стали 09Г2С, нормализованной с использованием тепла прокатного нагрева в условиях стана 2250 ОАО «АМК», проведены дополнительные исследования. Образцы от листов после нормализации с прокатного нагрева были подвергнуты термообработке по режиму классической нормализации в лабораторных условиях (таблица 2)

Режим нормализации с прокатного нагрева на стане 2250:

- начальная температура металла перед печью 710°C;
- температура проходной роликовой печи по зонам 950°C;
- температура металла на выдаче 880°C .

Режим нормализации в лабораторных условиях:

- температура в термической печи по зонам 930°C;
- удельное время нагрева 2 мин/мм.

Таблица 2 – Режимы термообработки и механические свойства исследуемых марок стали

Марка стали	Толщина листа, мм	Расчётная t перед печью, °C	t на выходе из печи, °C	Критическая точка A _c , °C	σ_T , МПа	σ_b , МПа	δ , %	Испытание на ударный из- гиб, KV –20°C Дж/см ²
S355	5	650	860– 880	858	$\frac{392 - 458}{426,3}$	$\frac{520 - 623}{556,9}$	$\frac{25 - 32}{28,7}$	$\frac{26 - 58}{34,58}$
	6	667	860– 870		$\frac{368 - 443}{414,3}$	$\frac{514 - 580}{556,0}$	$\frac{24 - 34}{28,4}$	$\frac{25 - 59}{35,48}$
	8 - 12	710 - 750	870– 880		$\frac{364 - 454}{389,9}$	$\frac{496 - 575}{536,5}$	$\frac{23 - 31}{27,6}$	$\frac{35 - 80}{52,7}$
								KCU – 40°C
09Г2С	8	710	880	860	$\frac{351 - 434}{364}$	$\frac{487 - 570}{511}$	$\frac{28 - 34}{31}$	$\frac{67 - 112}{85}$
	8	Т.о. в лаб. усл.	930					
								KV–46°C
A516-70	6,35	680	860	842	$\frac{370 - 439}{408,4}$	$\frac{512 - 580}{532}$	$\frac{27 - 28}{27,5}$	-
	8	710	850		$\frac{355 - 417}{368,8}$	$\frac{513 - 559}{529,5}$	$\frac{23,5 - 27}{24,97}$	$\frac{23 - 57}{33,7}$

По результатам металлографических исследований установлено, что микроструктура образцов феррито-перлитная мелкозернистая с зерном 9-10 балла (рис. 6-7). Однако в металле после нормализации в лабораторных условиях полосчатость 0 балла, в отличие от металла стана 2250, где полосчатость 1,5 балла. Результаты испытаний образцов на разрыв по

пределу текучести, временному сопротивлению, относительному удлинению, а также ударной вязкости при -40°C полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 5520-79. Таким образом, подтверждается стойкость структурного состояния термообработки с прокатного нагрева после повторной нормализации образцов в лабораторных условиях.

Также исследовалась микроструктура образцов отобранных от листов стали марки S355, толщиной от 5 до 12 мм (12 плавок). Обработка листов производилась в диапазоне температур в режиме нормализации с прокатного нагрева. Микроструктура образцов представлена на рисунках 8 - 12.

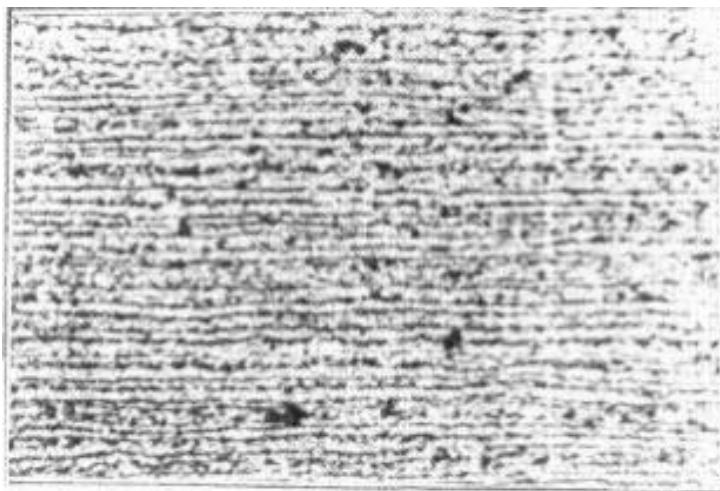


Рисунок 1 – Микроструктура стали марки A516-70 (толщина 6,35 мм, стан. 2250, x100)



Рисунок 2 – Микроструктура стали марки A516-70 (толщина 8 мм, стан. 2250, x100)

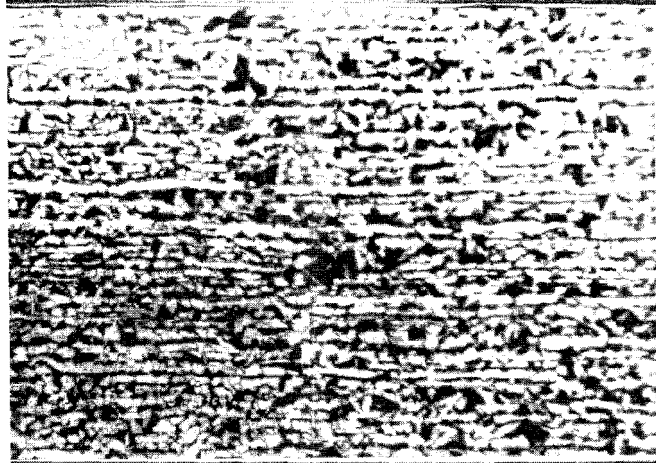


Рисунок 3 – Микроструктура стали марки А516-70
(толщина 10 мм, стан. 2250, x100)

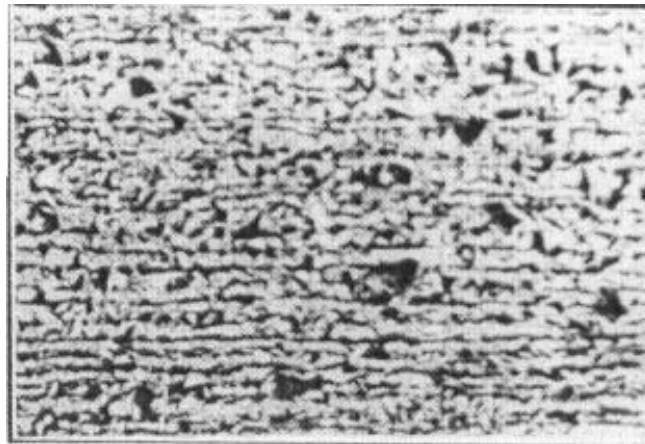


Рисунок 4 – Микроструктура стали марки А516-70
(толщина 12 мм, стан. 2250, x100)

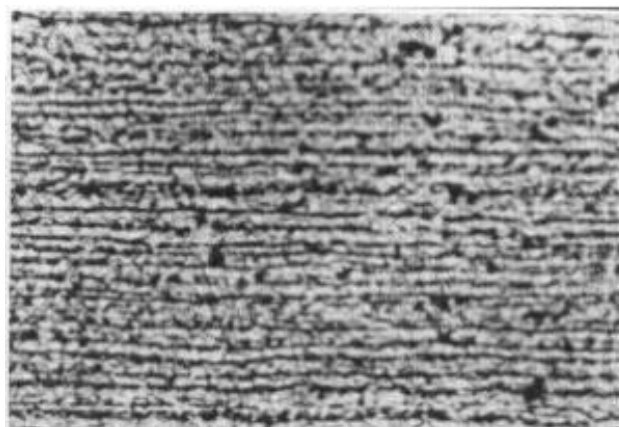


Рисунок 5 – Микроструктура стали марки А516-70
(толщина 10 мм стан 3000, x100)

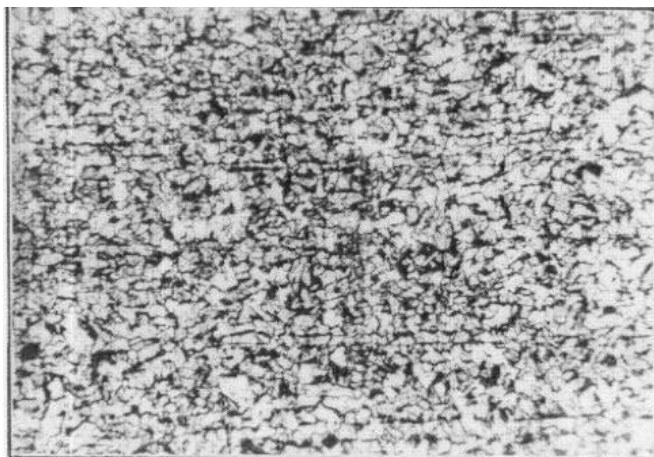


Рисунок 6 – Микроструктура стали марки 09Г2С ГОСТ 5520 нормализованного с прокатного нагрева (толщина 8 мм, x100)

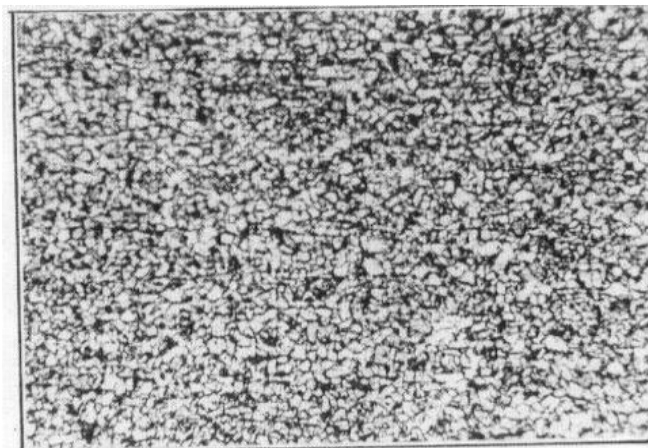


Рисунок 7 – Микроструктура стали марки 09Г2С ГОСТ 5520 т/о в лабораторных условиях (толщина 8 мм, x100)

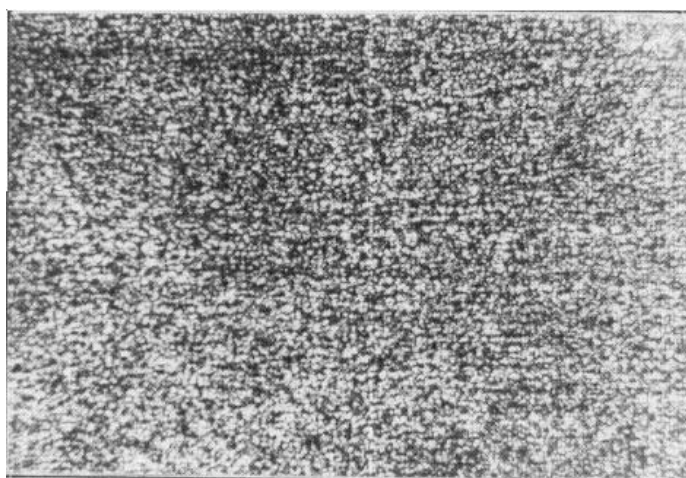


Рисунок 8 – Микроструктура стали марки S355 (толщина 5 мм, x100)

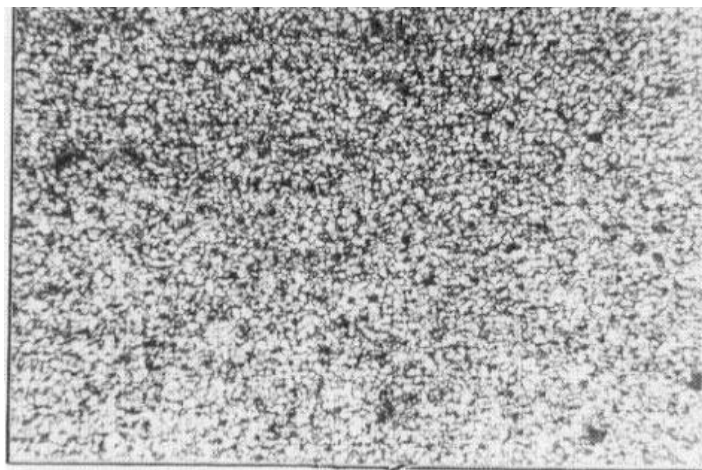


Рисунок 9 – Микроструктура стали марки S355 (толщина 6 мм, x100)

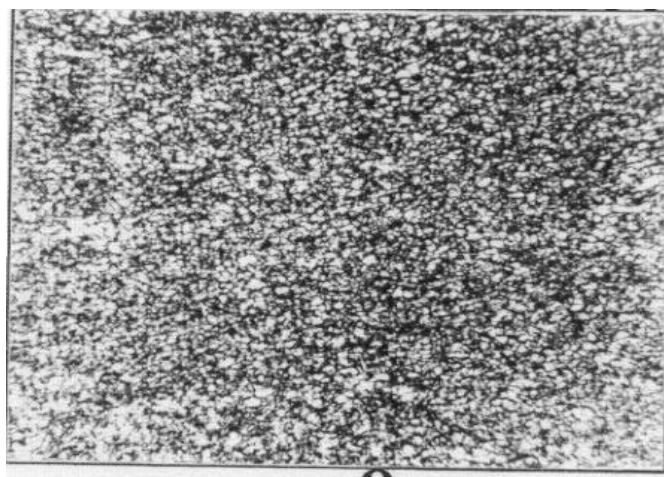


Рисунок 10 – Микроструктура стали марки S355 (толщина 8 мм, x100)

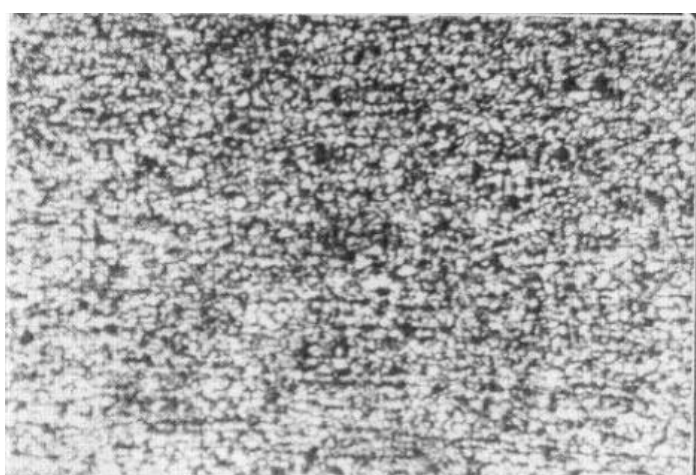


Рисунок 11 – Микроструктура стали марки S355 (толщина 10 мм, x100)

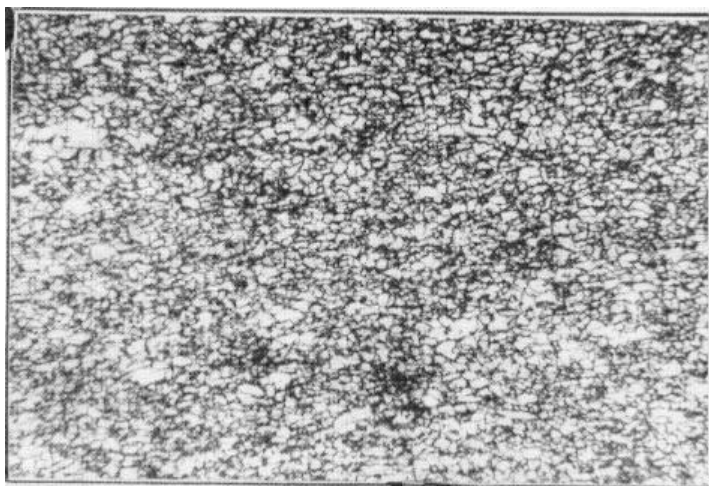


Рисунок 12 – Микроструктура стали марки S355 (толщина 12 мм, x100)

Структура металла мелкозернистая, зерно округлое, равноосное 10-9-8 балла, полосчатость у поверхности образца 0 балла, в центральной части по толщине листа до 2,5 балла.

В результате исследований микроструктуры металла, отгруженного по заказам, получена зависимость балла зерна от толщины листа прокатанного на стане 2250 (Рисунок13.)

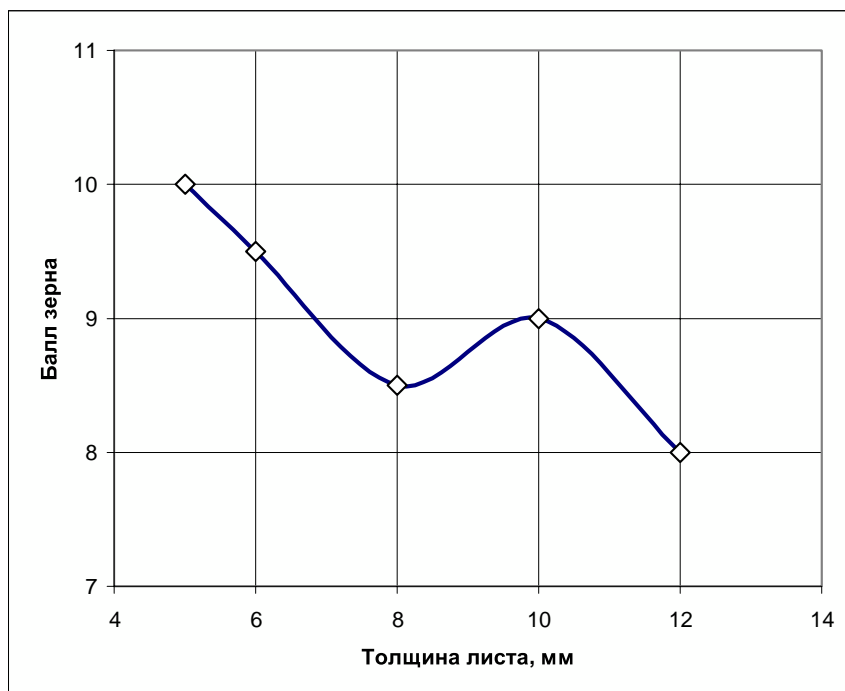


Рисунок 13 – Зависимость балла зерна низколегированных сталей от толщины листа при нормализации с прокатного нагрева

Видно, что с увеличением толщины листа от 5 до 12 мм происходит уменьшение балла зерна, что характерно и для нормализованных листов толщиной 8-12 мм в термоотделении стана 3000. На основании вышеизложенного можно отметить, что при нормализации с прокатного нагрева в условиях стана 2250 происходит фазовая перекристаллизация аустенитного зерна в области высоких температур, придание более однородной структуры металла за счёт равномерного распределения избыточной составляющей (феррита), а так же снижение внутренних напряжений в стали. Получаемые микроструктура и свойства соответствуют нормализованному листовому прокату стана 3000 с высокой устойчивостью первоначальной структуры к повторной обработке (нормализации).

Таким образом, установлено, что применение нормализации с прокатного нагрева листов толщиной 5 – 12 мм низколегированной стали в условиях стана 2250 ОАО АМК позволяет получить требуемый уровень механических свойств металла, предъявляемый к готовой продукции в состоянии поставки после нормализации.

Приведены результаты экспериментальных исследований возможности получения требуемого уровня механических свойств листов из низколегированной стали при термообработке с прокатного нагрева.

The results of experimental researches of possibility of receipt of the required level of mechanical properties of hot-sheets are resulted at heat treatment from the rolling heating.

Библиографический список

1. Подгайский М.С., Егоров Н.Т., Заннес А.Н.- "Нормализация толстолистовой стали с использованием тепла нагрева перед прокаткой". - Чёрная металлургия, Бюл. НТИ 1975г. №8 с 50-51.

2. Экспресс - обзор "Новейшие зарубежные достижения". Серия "Обработка металлов давлением, металловедение и термическая обработка". - Выпуск 5-6. Москва 1992г.

3. Узлов И.Г., Бабич В.К., Бочков Н.Г. – "Термическая и термомеханическая обработка проката".- М.: Металлургия, 1981г. - 104с.

4. Стиваков В.И., Совенков В.Я., Бабицкий М.С.- "Освоение регулируемого охлаждения при термической обработке листов с прокатного нагрева".- Сталь, 1983г. №12.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.