



*The values of technological parameters of the production process and characteristics of rolled production, produced at mill 850, are established and allow to determine the state of hot-rolled rounds.*

В. А. ПОЛИТОВ, О. М. КИРИЛЕНКО, П. К. ГРИБОВСКИЙ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА И ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДУКЦИИ, ПРОИЗВОДИМОЙ ПО СТАНДАРТУ DIN EN 10025, ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОСТАВКИ (N ИЛИ AR)

Производство горячекатаной круглой заготовки диаметром от 90 до 150 мм из стали марки S355J2 на реверсивном прокатном стане 850 РУП «БМЗ» осуществляется согласно требованиям стандарта DIN EN 10025-2:2005. Производимая по данному стандарту продукция может поставляться потребителю в двух состояниях: горячекатаном и нормализованном.

Согласно пункту 3.1 стандарта DIN EN 10025, «нормализованная прокатка – это процесс прокатки с конечной обработкой давлением при определенной температуре, приводящий материал в состояние, как после нормализации, и благодаря этому заданные параметры механических свойств сохраняются и после дополнительной нормализации. Краткое обозначение для данного состояния поставки – «N».

Согласно пункту 3.2 стандарта DIN EN 10025, «состояние, как после проката, т. е. это состояние поставки готового проката без каких-то специальных условий проката или термической обработки. Краткое обозначение данного состояния поставки – «AR».

Для определения фактического состояния поставки проката из стали марки S355J2 была проведена научно-исследовательская работа по установлению значений технологических параметров процесса производства и характеристик прокатной продукции, производимой на стане 850, позволяющих точно определить состояние горячекатаного круглого проката при поставке потребителю. Работу выполняли по утвержденному плану, в котором рассматривали комплекс исследований, позволяющий определить, какое из двух состояний, согласно стандарту (N или AR), имеют круглые заготовки, прокатанные на стане 850.

Данную исследовательскую работу проводили на 33 плавках стали марки S355J2, прокатанных в круглые горячекатаные заготовки диаметром 90–150 мм. Определяли химический состав стали на соответствие требованиям стандарта. Средние значения химического состава всех исследуемых плавков приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что химический состав стали соответствует требованиям стандарта.

Т а б л и ц а 1. Химический состав стали марки S355J2

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355J2	0,178	0,353	1,306	0,011	0,023	0,243
Требования стандарта	Не более					
	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	0,55

После определения химического состава стали S355J2 по диаграмме железо–углерод находили температуру нормализации. Так как исследуемая марка стали является доэвтектоидной, то температуру нормализации для нее выбирают на 30–50 °С выше температуры точки  $A_{C3}$ . По диаграмме Fe–C определили температуру точки  $A_{C3}$ , которая составила 830 °С (для углерода 0,178), следовательно, температура нормализации для этой стали должна находиться в пределах 860–880 °С. Таким образом, выбранная температура нормализации служит тем технологическим параметром процесса прокатки, при котором возможно получение нормализованного проката, т. е. температура конца прокатки должна быть на уровне температуры нормализации, указанной выше.

Нагрев непрерывнолитых заготовок перед прокаткой осуществляли по режимам для 2-й группы

марок сталей согласно действующей нормативной документации (НД).

Прокатку заготовок диаметром 90–150 мм производили в соответствии с действующими технологической инструкцией и схемами калибровок. В процессе прокатки металла осуществляли контроль температуры раскатов на выходе из клетки после прокатки, так как эта температура является определяющим фактором, позволяющим говорить о том, является процесс прокатки нормализованным либо нет.

Температура раскатов на выходе из прокатной клетки стана 850 на всех прокатанных экспериментальных заготовках находилась в диапазоне 1074–1130 °С и превышала изначально определенную температуру нормализации для данной марки стали. Так как температура конца прокатки на стане 850 является параметром неконтролируемым, то можно сказать, что получение проката в нормализованном состоянии затруднено в связи с указанным обстоятельством. Однако для подтверждения первичных выводов о невозможности получения

нормализованного проката в процессе производства на всем объеме горячекатаных заготовок производили отбор проб для механических испытаний с целью проведения сравнительного анализа механических свойств образцов с проката и образцов, нормализованных в лабораторных условиях.

Для этого в процессе прокатки на пиле горячей резки отбирали пробы для следующих видов испытаний: определения химического состава (3 шт.); механических испытаний (3 шт.), две из которых для испытаний на растяжение. В лаборатории физико-механических испытаний дополнительно изготавливали два образца из этих проб, испытания на растяжение которых производили после термической обработки (нормализации).

Режимы термической обработки: температура нагрева – 880±15 °С; выдержка в течение 1 ч; охлаждение на воздухе.

Результаты механических испытаний образцов, отобранных от всех экспериментальных плавок для всех прокатанных профилей, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Результаты механических испытаний образцов из стали марки S355J2

Профиль, мм	Значение параметра	Механические свойства					
		нетермообработанные образцы			термообработанные образцы (нормализованные)		
		предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	относительное удлинение $\delta_5$ , %	предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	предел прочности, Н/мм <sup>2</sup>	относительное удлинение $\delta_5$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8
90	Минимум	346	521	25	362	510	30
	Максимум	360	537	30,4	406	555	34,6
	Среднее	353	530	28	377	523	33,1
95	Минимум	334	514	30	359	524	31,2
	Максимум	388	540	33,8	406	557	37
	Среднее	355	529	32	383	538	33,8
100	Минимум	340	512	30	363	512	30,2
	Максимум	375	548	32,8	400	554	34,4
	Среднее	361	529	31,4	383	538	32,6
105	Минимум	335	530	32,2	379	532	32,6
	Максимум	350	533	33,4	399	544	34,8
	Среднее	342	532	32,9	389	539	33,8
120	Минимум	336	509	30,2	373	523	3,8
	Максимум	360	533	32,8	392	545	34,6
	Среднее	348	515	31,6	383	531	27,9
125	Минимум	345	520	29,6	406	577	29,2
	Максимум	370	556	32	420	578	31,6
	Среднее	358	538	30,8	413	578	30,4
130	Минимум	335	505	28	365	515	30,2
	Максимум	380	548	32,8	410	567	36
	Среднее	358	527	31,2	386	543	33,5
135	Минимум	355	538	26,2	395	555	28
	Максимум	376	552	27,4	411	577	30,2
	Среднее	366	545	26,8	403	566	29,1
140	Минимум	334	511	28	361	527	29,4
	Максимум	362	535	36	383	534	31
	Среднее	345	522	30,7	372	530	30,45

1	2	3	4	5	6	7	8
145	Минимум	350	515	31,8	393	541	31,6
	Максимум	356	532	32,4	400	548	32
	Среднее	353	524	32,1	397	545	31,8
150	Минимум	325	509	29,2	362	519	27,6
	Максимум	359	533	33,4	407	561	33,6
	Среднее	343	525	31,3	383	540	31,1
ИТОГО по всем профилям	Минимум	325	505	25	359	510	27,6
	Максимум	388	556	36	420	578	37
	Среднее	351	527	31	384	539	32

Как видно из таблицы, разброс значений по пределу текучести и пределу прочности на образцах, не подвергнутых термообработке (нормализации), составил 63 и 51 Н/мм<sup>2</sup> соответственно, что свидетельствует о нестабильности получения свойств на одном уровне. В свою очередь на образцах после термообработки разброс составил 61 и 68 Н/мм<sup>2</sup> для предела текучести и предела прочности соответственно. При этом среднее значение предела текучести на термообработанных образцах превышает на 33 Н/мм<sup>2</sup> указанное значение для нетермообработанных образцов, а среднее значение предела прочности – на 12 Н/мм<sup>2</sup>. Следует учесть, что указанное невысокое превышение значений механических свойств термообработанных образцов по отношению к необработанным говорит о том, что задача нормализации заключается в улучшении свойств и главное структуры углеродистых и низколегированных сталей.

Нормализация обеспечивает формирование более благоприятной структуры в низкоуглеродистых сталях в результате ускоренного охлаждения при нормализации. Нормализация горячекатаной стали в большей степени ослабляет проявление строчечности в структуре, связанной с предпочтительным выделением избыточного феррита на неметаллических включениях.

В случае низкоуглеродистых сталей нормализация часто используется вместо отжига. Она является более кратковременной обработкой и обеспечивает формирование более оптимальной структуры для проведения последующих технологических операций.

Для сравнительного анализа микроструктуры готового проката как горячекатаных, так и термообработанных (нормализованных) образцов были отобраны пробы от четырех опытных плавок. Отбор аттестационных проб производили на пиле холодной резки согласно требованиям НД.

Результаты оценки образцов, отобранных от исследуемого металла, приведены в табл. 3.

**Таблица 3. Результаты металлографического исследования микроструктуры горячекатаных и нормализованных образцов стали марки S355J2**

Номер плавки, профиль, мм	Номер пробы	Размер зерна, балл, ГОСТ 5639	Микроструктура
307916, 95 (рис. 1)	1-Г*	8	Феррит + перлит
	2-Г*	8	Феррит + перлит
	1-Т*	9	Феррит + перлит
	2-Т*	9	Феррит + перлит
307917, 95 (рис. 2)	1-Г*	8	Феррит + перлит
	2-Г*	8	Феррит + перлит
	1-Т*	9	Феррит + перлит
	2-Т*	9	Феррит + перлит
308034, 135 (рис. 3)	1-Г*	8	Феррит + перлит
	2-Г*	8	Феррит + перлит
	1-Т*	9	Феррит + перлит
	2-Т*	9	Феррит + перлит
308035 145 (рис. 4)	1-Г*	8	Феррит + перлит
	2-Г*	8	Феррит + перлит
	1-Т*	9	Феррит + перлит
	2-Т*	9	Феррит + перлит

Примечание: \* Г – горячекатаная; Т – термообработанная.

Из таблицы видно, что микроструктура всех исследованных образцов – феррито-перлитная, но в свою очередь следует отметить, что размер зерна на образцах, исследуемых после нормализации, составил 9 баллов, а для образцов, не подвергавшихся термической обработке (горячекатаных), – 8 баллов.

На рис. 1–4 показаны фотографии микроструктуры указанных образцов.

Из рисунков видно, что микроструктура термообработанных образцов всех исследуемых плавок мелкозернистая по сравнению со структурой нетермообработанных (горячекатаных) образцов. Структура нормализованных образцов значительно улучшенная, кроме того, в структуре уменьшилось количество избыточного феррита. Это свидетельствует о том, что нельзя считать горячекатаный круглый прокат диаметром 90–150 мм из стали марок, производимых по стан-

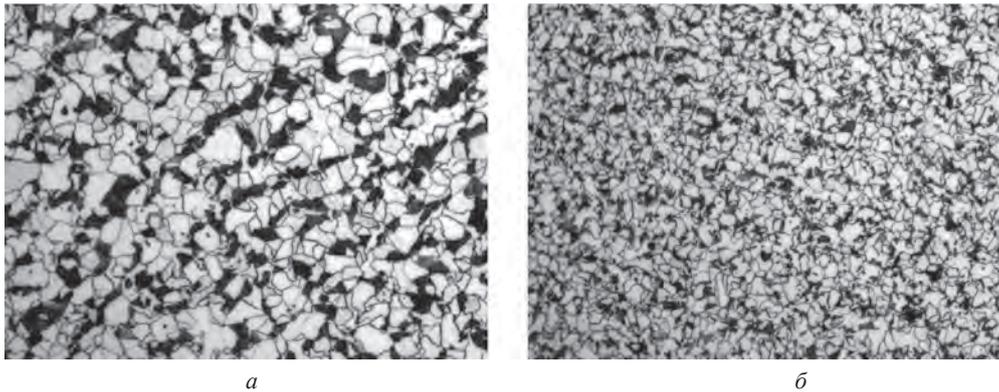


Рис. 1. Структура образцов плавки № 307916: *a* – горячекатаная проба; *б* – термообработанная проба. x200

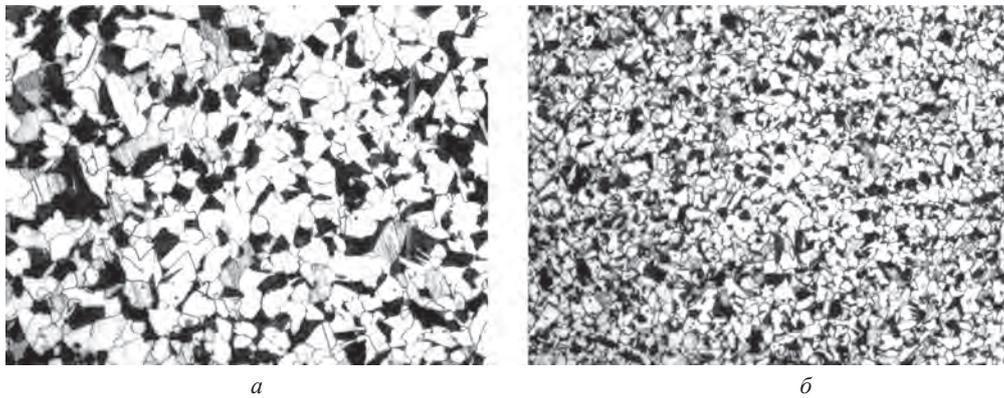


Рис. 2. Структура образцов плавки № 307917: *a* – горячекатаная проба; *б* – термообработанная проба. x200

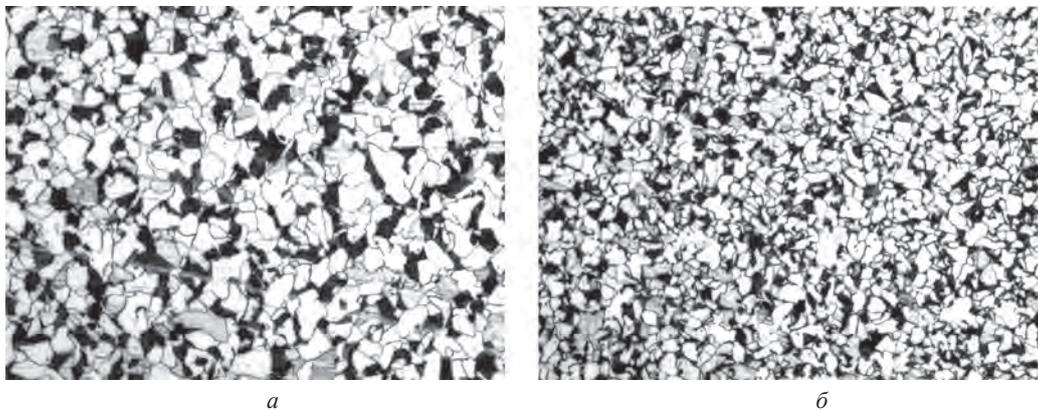


Рис. 3. Структура образцов плавки № 308034: *a* – горячекатаная проба; *б* – термообработанная проба. x200

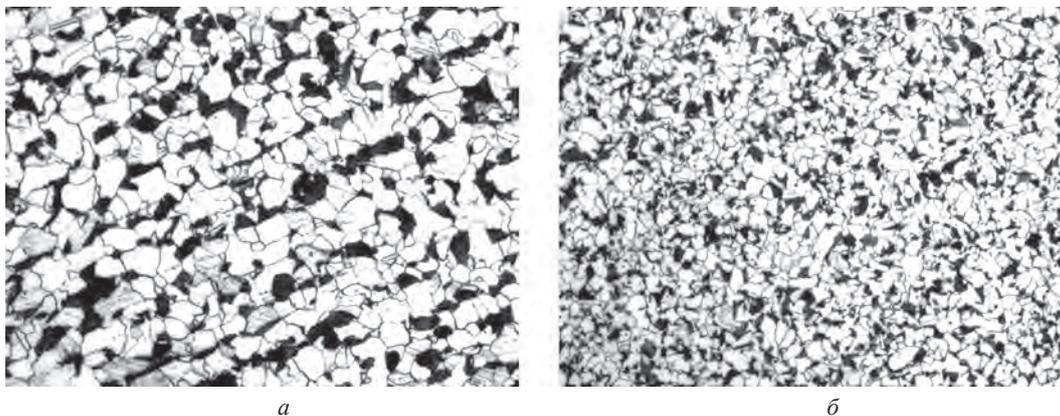


Рис. 4. Структура образцов плавки № 308035: *a* – горячекатаная проба; *б* – термообработанная проба. x200

дарту DIN EN 10025 в условиях стана 850, нормализованным, так как по своим механическим, а главное структурным характеристикам, он значительно отличается от термически обработанного (нормализованного).

### **Выводы**

1. Уровень значений механических свойств на образцах, подвергавшихся термической обработке (нормализации), выше, чем на ненормализованных образцах. В среднем превышение по пределу текучести и пределу прочности составило 33 и 12 Н/мм<sup>2</sup> соответственно.

2. Микроструктура нормализованных образцов более равномерная, улучшенная, мелкозернистая по сравнению со структурой горячекатаных образцов. Размер зерна на нормализованных об-

разцах составил 9 баллов, на горячекатаных – 8 баллов.

3. Следует отметить, что нормализация – процесс технологически трудоемкий, представляющий собой совокупность нескольких операций (нагрев металла–выдержка при заданной температуре – охлаждение на воздухе), которые невозможно выполнить в существующем технологическом процессе прокатки на стана 850. Так как по основным параметрам технологического процесса, а также по физико-механическим и структурным свойствам нормализованный прокат значительно отличается (превосходит) от горячекатаного, то, согласно стандарту DIN EN 10025 и по итогам проведенной исследовательской работы, состояние поставки готового круглого проката со стана 850 определено как «AR».