

УДК 621.78:669.018.29

Рябикина М. А.<sup>1</sup>, Ткаченко Ф.К.<sup>2</sup>, Иванова Т.Ю.<sup>3</sup>, Ставровская В.Е.<sup>4</sup>

### ВЫБОР РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО УРОВНЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ КАТЕГОРИИ S355J2

*В статье выполнен компьютерный анализ механических свойств конструкционной стали S355J2 после различных вариантов обработки. Для получения стабильного комплекса механических свойств согласно EN 10025 предложена нормализация.*

**Ключевые слова:** механические свойства, нормализующая прокатка, структура.

*Рябікіна М.А., Ткаченко Ф.К., Іванова Т.Ю., Ставровська В.Є. Вибір режиму термічної обробки, що забезпечує отримання стабільного рівня механічних властивостей сталі S355J2. У статті виконаний комп'ютерний аналіз механічних властивостей конструкційної сталі S355J2 після різних варіантів обробки. Для здобуття стабільного рівня комплексу механічних властивостей відповідно EN 10025 запропонована нормалізація.*

**Ключові слова:** механічні властивості, нормалізуючи прокатка, структура.

*M.A. Ryabikina, F.K. Tkachenko, T.Y. Ivanova, V.E. Stavrovskaya. Choice Heat Treatment, Provides a Stable Level Mechanical Properties of Steel Category S355J2. In the article made a computer analysis of the mechanical properties of steel S355J2 after different treatment options. To obtain a stable complex of mechanical properties according to EN 10025 proposed normalization.*

**Keywords:** mechanical properties, normalizing rolling, structure.

**Постановка проблемы.** В практике совершенствования технологий получения листового проката широкое распространение имеют зависимости типа «химический состав - технологические факторы - структура - механические свойства» [1-3]. В связи с этим применение и дальнейшее развитие математико-статистических методов в управлении качеством продукции является одной из насущных задач в черной металлургии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Теоретические и прикладные аспекты применения компьютерного моделирования для анализа и прогнозирования свойств металлопродукции массового назначения рассмотрены во многих работах известных ученых различных стран. Весомый вклад в решение этой проблемы внесли: В.Л. Пилюшенко, Н. Bhadeshia, J. Kusiak и др.

**Цель статьи** – Прогнозирование требуемого качества листового проката конструкционной стали S355 на основе анализа результатов механических испытаний в горячекатаном состоянии и после упрочнения по различным режимам.

**Изложение основного материала.** В работе исследованы структура и механические свойства конструкционной стали S355J2 в горячекатаном состоянии, после нормализующей прокатки и нормализации. Химический состав стали, %:  $C_{\max}=0,27$ ;  $Mn_{\max}=1,70$ ;  $Si_{\max}=0,60$ ;  $P_{\max}=0,045$ ;  $S_{\max}=0,045$ ;  $C_{\text{э.кв.макс}}=0,45$ . Требования стандарта EN 10025 к механическим свойствам листов толщиной 16–40 мм:  $\sigma_{0,2} \geq 345$  МПа,  $\sigma_B=470-630$  МПа,  $\delta \geq 22$  %,  $KV_{20} \geq 27$  Дж. Термическая обработка проката – по усмотрению изготовителя. В условиях ЛПЦ 3600 ОАО «МК «Азовсталь» листовую сталь S355J2 подвергают нормализующей прокатке или нормализации.

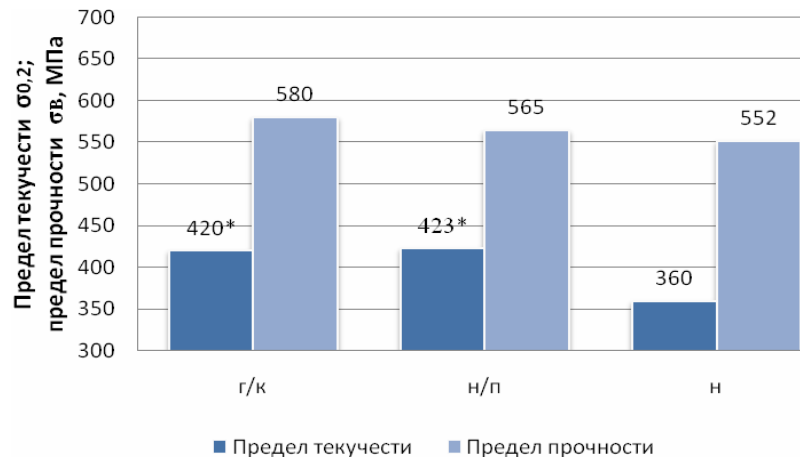
На основании анализа массива данных для стали S355J2 толщиной 10-30 мм в состояниях после горячей, нормализующей прокатки и нормализации вычислили следующие статистические показатели механических свойств: среднее арифметическое, мода, медиана, размах вариации, дисперсия, стандартное отклонение, асимметрия и эксцесс. Уровень надежности соответствует  $P=95\%$ . Результаты анализа в виде гистограмм средних значений характеристик механических свойств приведены на рис. 1.

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

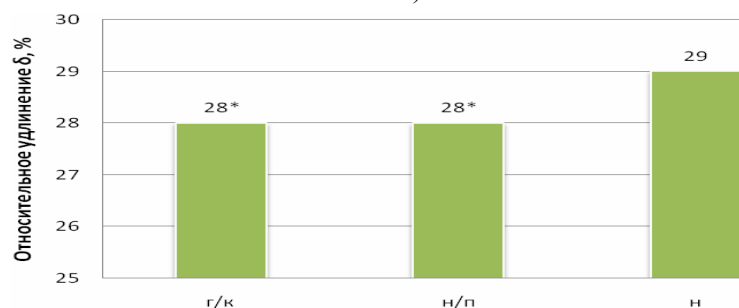
<sup>2</sup>д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup>начальник термического сектора прокатной лаборатории ИТЦ ТУ ОАО «МК «Азовсталь»

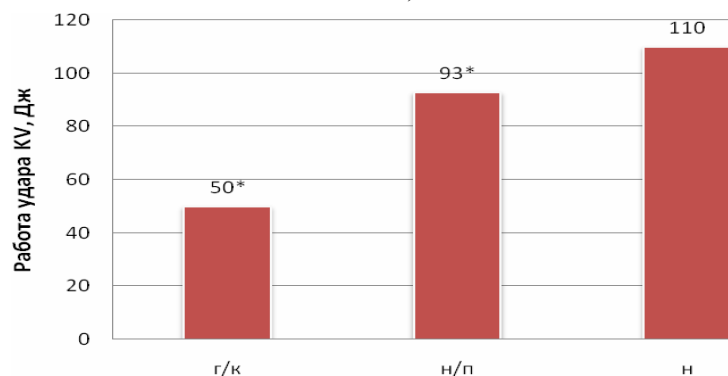
<sup>4</sup>инженер термического сектора прокатной лаборатории ИТЦ ТУ ОАО «МК «Азовсталь»



а)



б)



в)

Рис. 1 – Сравнение уровней характеристик механических свойств стали S355J2 в различных состояниях: а – прочностные свойства, МПа; б – относительное удлинение, %; в – работа удара, Дж

Объем выборки для каждого варианта обработки составил ~1500-3000 плавок. Звездочкой отмечены «провалы» механических свойств. Так, например, в горячекатаном состоянии  $\sigma_{0.2min} = 284$  МПа, что не удовлетворяет требованиям стандарта DIN EN 10025, при этом  $\sigma_{0.2max} = 580$  МПа.  $\sigma_{Bmin} = 470$  МПа,  $\sigma_{Bmax} = 695$  МПа, оба крайних значения удовлетворяют требованиям стандарта. Среднее значение работы удара  $KV_{20} = 50$  Дж, при этом наблюдается значительный разброс значений  $KV_{20}$  от 14 до 165 Дж.  $KV_{min} = 14$  Дж, что также не соответствует требованиям стандарта (27 Дж).

После нормализующей прокатки получены следующие средние значения:  $\sigma_{0.2} = 423$  МПа,  $\sigma_B = 565$  МПа,  $\delta = 28\%$ ,  $KV_{20} = 93$  Дж. Прочностные характеристики и относительное удлинение в состоянии после обычной и нормализующей прокатки примерно одинаковы, в то время как энергия удара увеличилась на ~40 Дж. Следует отметить, что после нормализующей прокатки наблюдаются значения  $\sigma_{0.2min} = 303$  МПа,  $\delta_{min} = 22\%$  и  $KV_{min} = 23$  Дж, что также не удовлетворяет требованиям стандарта EN 10025.

Средние характеристики механических свойств после нормализации при 930 °С состави-

ли:  $\sigma_{0,2}=360$  МПа,  $\sigma_B=552$  МПа,  $\delta=29\%$ ,  $KV_{-20}=110$  Дж, что соответствует требованиям DIN EN 10025. Анализ показал, что средние значения прочностных свойств уменьшаются при переходе от горячей прокатки к нормализующей прокатке и нормализации, а работа удара возрастает в обратном порядке. Одновременно средние значения работы удара  $KV_{-20}$  в  $\sim 4$  раза превышают требуемый уровень. Более низкие средние показатели прочности после нормализации, возможно, обусловлены уменьшением вариации этих характеристик. Так, например,  $R=x_{max}-x_{min}$  для  $\sigma_{0,2}$  составляет 296, 247 и 72 МПа соответственно. Для работы удара характерен значительный разброс значений для всех вариантов обработки, но только после нормализации  $KV_{min}=48$  Дж, что выше требований стандарта на  $\sim 20$  Дж. Для всех случаев  $x_{cp.} \approx Mo \approx Me$ . Закономерностей в изменении  $A_5$  и  $E_5$  от варианта обработки не обнаружено.

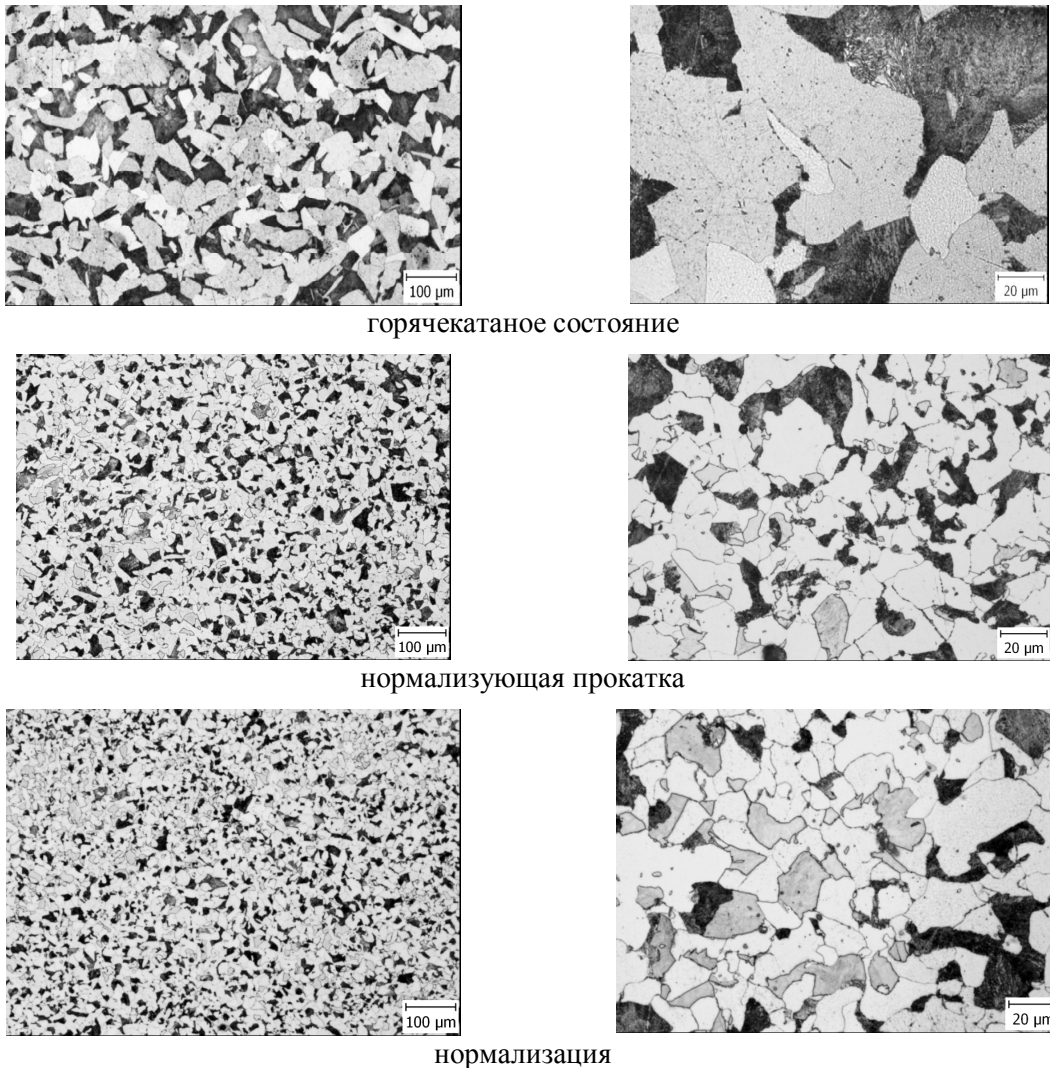


Рис. 2 – Микроструктура стали после различных вариантов обработки

После нормализующей прокатки в структуре стали S355J2 сохраняется полосчатость, однако размер структурных составляющих становится заметно меньше, по сравнению с обычной горячей прокаткой (см. рис. 2).

Микроструктура нормализованного металла – феррито-перлитная, мелкозернистая, зерно № 9-8. Отсутствие полосчатости в расположении структурных составляющих и мелкозернистая феррито-перлитная структура обуславливают стабильность механических свойств и высоких значений работы удара листовой стали S355J2 после нормализации.

#### **Выводы**

1. Компьютерный анализ результатов механических испытаний листовой стали S355J2 толщиной 10-30 мм в горячекатаном состоянии, а также после нормализующей прокатки показал, что значения  $\sigma_{0,2}$  и  $KV_{-20}$  в отдельных случаях ( $\leq 1\%$  базы данных) не соответствуют требованиям DIN EN10025.

2. Нормализующая прокатка позволяет получить средние значения механических свойств:  $\sigma_{0,2}=423$  МПа,  $\sigma_B=565$  МПа,  $\delta=28\%$ ,  $KV_{20}=93$  Дж непосредственно в технологическом потоке; однако она требует строгого соблюдения режима прокатки и последующего охлаждения.
3. Нормализация стали S355 от 930 °С обеспечивает получение стабильного уровня механических свойств:  $\sigma_{0,2}=360$  МПа,  $\sigma_B=552$  МПа,  $\delta=29\%$ ,  $KV_{20}=110$  Дж.
4. Изменение технологии обработки путем перехода от горячей прокатки к нормализующей прокатке и нормализации положительно влияет на микроструктуру стали, снижая полосчатость и увеличивая при этом степень дисперсности структуры.

**Список использованных источников:**

1. Z. Guo, W. Sha. Modelling the correlation between processing parameters and properties of maraging steels using artificial neural network // Computational Materials Science. – 2004. – 29 – P. 12–28
2. C. Galasso & E. Cosenza. Statistical analysis of reinforcing steel properties for seismic design of RC structures // Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Naples, Italy. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.wpape.unina.it>.
3. L.A. Dobrzański, R. Honysz. Application of artificial neural networks in modeling of normalized structural steels mechanical properties // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2009. – 32 – P. 37–45

Рецензент: А. М. Скребцов  
д-р тех. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 5.12.2010

УДК 537.533.3

Соляник Н.Х.<sup>1</sup>, Гаркуша Г.Г.<sup>2</sup>, Жерлицина О.В.<sup>3</sup>

**ПРЕПАРИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

*Рассмотрены методики подготовки объектов для исследования сплавов на просвечивающем электронном микроскопе, реактивы и режимы препарирования объектов исследования для электронной микроскопии.*

**Ключевые слова:** препарирование, электронная микроскопия, образец, реактив, реплика.

**Соляник М.Х., Гаркуша Г.Г., Жерлицина О.В. Препарування об'єктів дослідження для електронної мікроскопії.** Розглянуті методики підготовки об'єктів для дослідження сплавів на електронному мікроскопі, що просвічує, реактиви і режими препарування об'єктів дослідження для електронної мікроскопії.

**Ключові слова:** препарування, електронна мікроскопія, зразок, реактив, реплика.

**N.Kh. Solyanik, G.G. Garkusha, O.V. Zherlitsina. Preparing standard of study for an electronic microscopy.** The methods of preparation of objects are considered for research of alloys on a translucent electronic microscope, reagents and modes of preparing of research objects for an electronic microscopy.

**Keywords:** preparing, electronic microscopy, standard, reagent, remark.

**Постановка проблемы.** В отличие от световой микроскопии, где исследование микроструктуры металлических материалов проводится на микрошлифах массивных образцов на отражение, в просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) используются специальные пре-

<sup>1</sup> доцент, Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, профессор, Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь

<sup>3</sup> ст. преподаватель, Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь