

Юракова Т.Г., канд. техн. наук, доц.,
Черноситова Е.С., канд. техн. наук, доц.,
Левицкая К.М., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ КАК ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

tatjana.2006@mail.ru

Приведены результаты статистической обработки данных о качестве стали, применяемой для изготовления труб бесшовных. Рассчитаны индексы возможностей технологических процессов производства и оценен фактический и прогнозируемый уровень дефектной продукции. Даны рекомендации по использованию индексов возможностей процессов в управлении качеством продукции.

Ключевые слова: сталь, статистическая обработка данных о качестве, индексы возможностей процессов, уровень брака.

На мировом рынке постоянно появляются новые строительные материалы с улучшенными свойствами, однако, несмотря на это, спрос на металл не падает: без использования металлоконструкций сейчас не обходится практически ни один строительный объект. Помимо строительства, продукция металлургической про-

мышленности применяется во многих других отраслях производства таких как машиностроение, трубная промышленность, судостроение, автомобилестроение и др. (рис 1). Широкий спрос на металл обусловлен длительным сроком эксплуатации изделий и конструкций из него, сочетанием прочности и надежности [1].

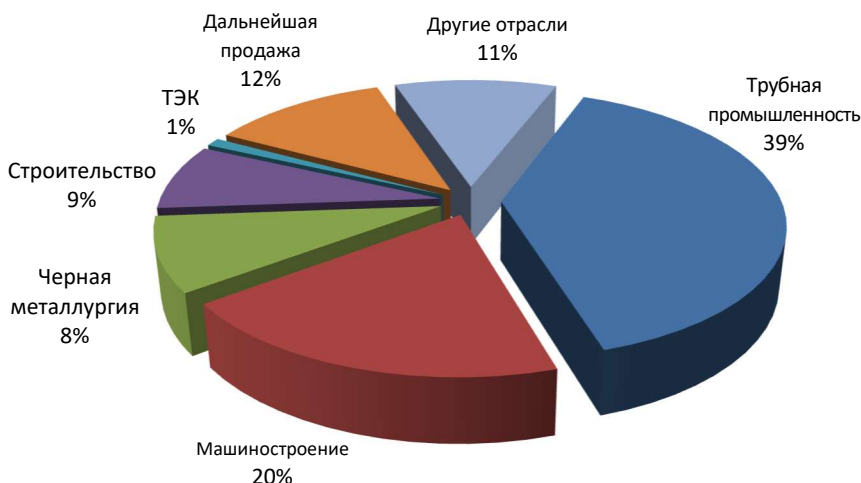


Рис. 1. Распределение потребления металлопроката по отраслям

Мировой кризис, затронувший все отрасли промышленности, негативно повлиял и на производство стали: если в 2015 году производство стали в РФ впервые за несколько лет снизилось (на 1,8 %), то в январе-марте 2016 года снижение дошло до 5,4 % относительно того же периода прошлого года. В 2017 году ожидается небольшое увеличение потребления стали на внутреннем рынке (до 2 %) [2], но, ситуация остается сложной для многих предприятий. Сохранить свое положение на рынке им удастся за счет снижения издержек, а также развития клиентоориентированности, в частности, качества продукции, сервиса и сроков доставки. В значи-

тельной мере добиться этого помогают современные системы менеджмента Система менеджмента качества по ИСО 9001 в последней редакции 2015 года ориентирована на удовлетворение запросов потребителей, управление рисками и является эффективным инструментом обеспечения качества выпускаемой продукции. Многие современные предприятия внедряют у себя на производстве интегрированные системы менеджмента на базе этого стандарта[3]. Особую актуальность для предприятий машиностроительной отрасли представляет внедрение элементов системы статистического управления процессами, которая позволяет улучшить каче-

ство процессов предприятия, прогнозировать их способность получать результат, удовлетворяющий требованиям самой организации и ее потребителей, а также принимать правильные управленческие решения на основе результатов использования статистических методов SPC [4–9].

Целью данной работы является оценка качества продукции машиностроительной отрасли на примере стальных бесшовных труб с применением элементов системы статистического управления процессов.

Являясь универсальным изделием, трубы используются в самых разных сферах деятельности человека: в нефтегазовой отрасли, водоснабжении, отоплении и др. Самым распространенным и наиболее востребованным типом данных изделий являются трубы бесшовные, изготавливаемые путем прокатки, волочения, пресования или штамповки.

Качество и безопасность эксплуатации труб зависит от многих факторов, в том числе и от применяемой для их изготовления стали. Тради-

ционно для такого класса изделий применяют сталь 17Г1С. Особенность ее химического состава позволяет применять ее для изготовления сварных деталей, работающих под давлением при температурах от -40 до $+475$ °С: это трубы, фланцы, сварные переходы, тройники и прочие фасонные детали. Сталь 17Г1С широко применяется в строительстве нефте- и газопроводов, тепловых сетей и электростанций, различных трубопроводов высокого давления, в том числе транспортирующих некоррозионно-активные газы.

Несмотря на то, что в России производится большое количество стали (по производству этого материала РФ занимает 4-е место в мире [2]) зачастую при выполнении заказов, в том числе для иностранных заказчиков, приходится работать с импортными со сталями, например, изготовленными по европейским стандартам. Востребованной является марка стали S355J2H, химический состав и механические свойства которой представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав стали S355J2H

Номинальная толщина изделия (мм)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Fe
≤ 40	<0,20	<0,55	<1,60	<0,025	<0,025	<0,55	Остальное
> 40	<0,22	<0,55	<1,60	<0,025	<0,025	<0,55	Остальное

Таблица 2

Механические свойства стали S355J2H

Минимальный предел текучести, МПа						Предел прочности на разрыв, МПа	
Номинальная толщина, мм						Номинальная толщина, мм	
≤16	>16	>40	>63	>80	>100	>3	>100
	≤40	≤63	≤80	≤100	≤125	≤100	≤125
355	345	335	325	315	295	470-630	450-600
Минимальное относительное удлинение после разрыва, А						Ударная вязкость	
						Температура, С°	Минимум поглощенной энергии, Дж
>3	>40	>63	>100			±20	27
≤40	≤63	≤100	≤125				
22	21	20	18				

Механические свойства, твердость, прочность, относительное удлинение, химический состав, эквивалентные сорта стали S355J2H регламентирует стандарт EN 10025-2:2004 [10]. Необходимо отметить, что прямого соответствия между марками стали по европейским стандартам и по отечественным стандартам нет. Можно лишь примерно сопоставить их. Например, ближайшим аналогом стали S355J2H в России является марка 17Г1С, в США (ASTM/ASME) – A656, в Германии (DIN) – St52-3N, в Англии (BS 4360) – 50D, в Испании (UNE 36-080) – AE 355 D, в Италии (UNI 7070) – Fe 510 D, в Бельгии (NBN A 21-101) – AE 355-D, в Пор-

тугалии (NP 1729) – Fe 510-D, в Австрии (M 3116) – St 510 D, в Норвегии (NS) – NS 12 153, в Японии (JIS) – SS490YA, в Китае (GB) – Q345D, в Швеции (SS) – 2134-01 [11, 12]. Учитывая отсутствие стандартов, устанавливающих единые требования и классификацию сталей, выпускаемых в разных странах, представляет интерес оценка качества стали, выпускаемой по европейским стандартам, и стабильности основных характеристик этого материала.

Для решения этой задачи были проведены исследования стали марки S355J2H изготавливаемых из нее труб бесшовных в независимой аккредитованной лаборатории, а также выпол-

нена статистическая обработка данных о качестве за второе полугодие 2016 года при объёме выборки 299 партий. Полученные результаты испытаний стали по показателям условного предела текучести, временного сопротивления разрыву и относительному удлинению приведены в таблицах 3-5 и представлены графически в виде гистограмм распределения на рисунках 2-4. В рамках данного исследования были рассчитаны индексы возможностей процесса и ожидаемый уровень бракованной продукции на выходе технологического процесса [13].

Для условного предела текучести нормативным документом на сталь нормируется толь-

ко нижняя граница: $LSL = 355$ МПа. Рассчитанные значения индексов C_{pl} и $C_{pk} < 1$, что свидетельствует о неудовлетворительной способности процесса выпускать продукцию на уровне нормативных требований: прогнозируемый уровень брака составляет 6,42 %. Однако при полной автоматизации производства и соблюдении всех требований технологического регламента на производство, предполагаемый уровень брака минимален, а фактический сведен к нулю, что подтверждается результатами контроля свойств труб из данной марки стали (табл. 3)

Таблица 3

Результаты статистической обработки результатов испытаний условного предела текучести

Условный предел текучести, МПа				
Среднее значение		393,29		Количество брака 0 штук
Среднеквадратичное отклонение		25,19		
Минимальное значение		355		
Максимальное значение		547		
Размах процесса ($X_{max} - X_{min}$)		192		
Запас технологической точности		1,52		
Индекс возможности процесса C_{pl}		0,51		
Индекс возможности процесса C_{pu}				
Индекс возможности процесса C_{pk}		0,51		
Индекс возможности процесса C_{pu}				
Границы годного		Прогноз доли брака, %		
min	max	по min	по max	итого
355,0		6,42 %	0,00 %	6,42 %
Фактический уровень брака, %				
		0,00 %	0,00 %	0,00 %

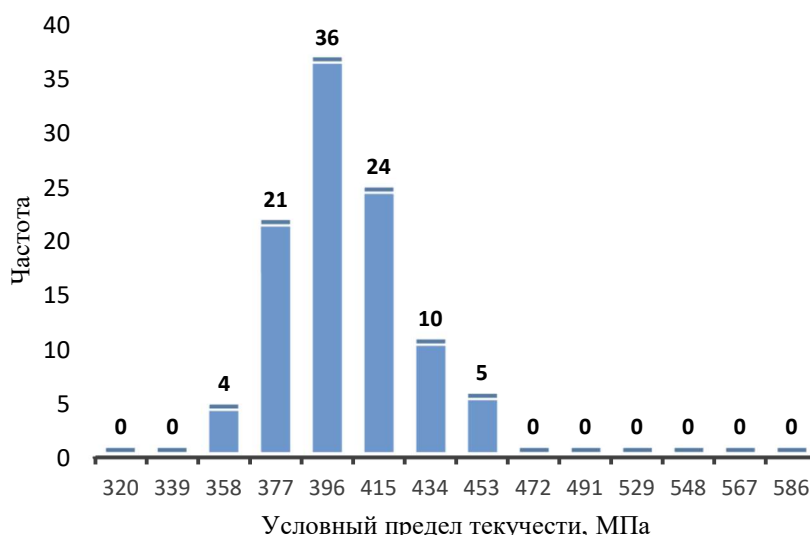


Рис. 2. Гистограмма распределения значений условного предела текучести стали

Временное сопротивление разрыву соответствует нормативным требованиям к данному показателю: $LSL=470$ МПа, $USL=630$ МПа. Рас-

считанные индексы возможностей процесса C_{pl} , C_{pu} , C_{pk} и $C_{pu} > 1$, прогнозируемые и фактические уровни брака продукции по данному пока-

зателю близки к нулю (табл. 4). Аналогичные значения статистических показателей были по-

лучены при обработке результатов испытаний относительного удлинения стали (табл. 4).

Таблица 4

Результаты статистической обработки результатов испытаний временного сопротивления разрыву

Временное сопротивление разрыву, МПа				
Среднее значение		548,86		
Среднеквадратичное отклонение		21,52		
Минимальное значение		470		
Максимальное значение		601		
Размах процесса (Xmax – Xmin)		131		
Запас технологической точности		3,66		
Индекс возможности процесса Cp1		1,22		
Индекс возможности процесса Cpи		1,26		
Индекс возможности процесса Cpk		1,22		
Индекс возможности процесса Cp		1,24		
Границы годного		Прогноз доли брака, %		
min	max	по min	по max	итого
470,0	630,0	0,01 %	0,01 %	0,02 %
		Фактический уровень брака, %		
		0,00 %	0,00 %	0,00 %

Количество брака 0 штук

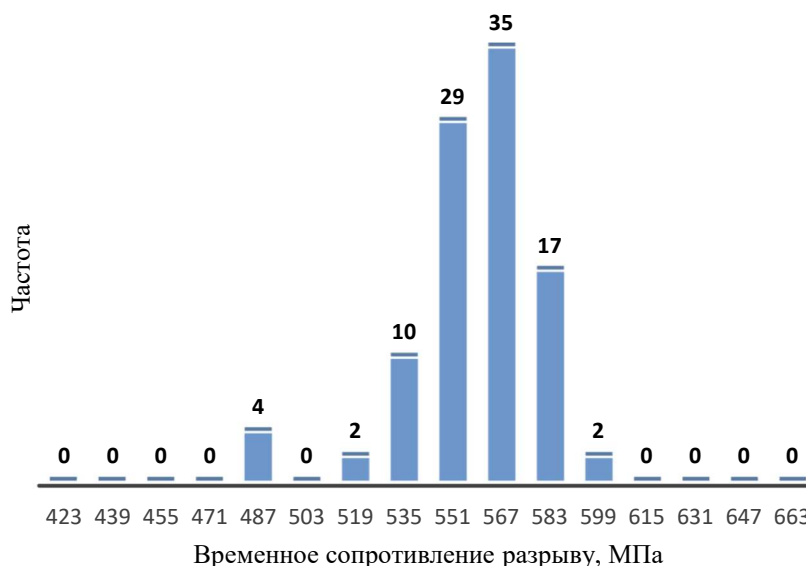


Рис. 3. Гистограмма распределения значений временного сопротивления разрыву стали

Таблица 5

Результаты статистической обработки результатов испытаний относительного удлинения

Относительное удлинение, %				
Среднее значение		30,42		
Среднеквадратичное отклонение		2,56		
Минимальное значение		25		
Максимальное значение		42,5		
Размах процесса (Xmax – Xmin)		17,5		
Запас технологической точности		2,12		
Индекс возможности процесса Cp1		1,10		
Индекс возможности процесса Cpи				
Индекс возможности процесса Cpk		1,10		
Индекс возможности процесса Cp				
Границы годного		Прогноз доли брака, %		
min	max	по min	по max	итого
22,0		0,05%	0,00%	0,05%
		Фактический уровень брака, %		
		0,00%	0,00%	0,00%

Количество брака 0 штук

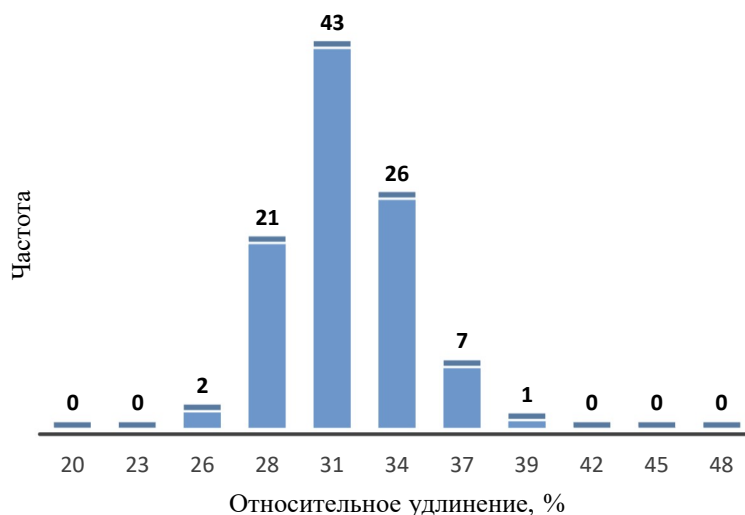


Рис. 4. Гистограмма распределения значений временного сопротивления разрыву стали

Представленные на рис. 2–4 гистограммы распределения параметров свидетельствуют об их близости к нормальному, что иллюстрирует управляемое состояние процесса, в котором действуют только обычные причины вариаций.

Выполненный расчет индексов воспроизводимости позволяет получить дополнительную информацию о протекании технологического процесса и его способности стабильно выпускать качественную продукцию. Необходимость обеспечения качества стали и стабильности ее характеристик диктуется требованиями Технического регламента Таможенного союза на трубы, работающие под давлением «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТРТС 032/2013) [14]. При грамотной организации пооперационного контроля и проведении всех необходимых исследований, возникновение брака готовой продукции, обусловленного качеством исходного сырья (стали), можно предотвратить. Однако, нестабильность химического состава стали и отклонения содержания химических элементов от требуемых значений вызывает необходимость корректировки ее состава, проведения дополнительных испытаний, что снижает эффективность производственного процесса и увеличивает затраты на контроль.

Из японского подхода "кайдзен", и приобретающей все большее распространение концепции "6 сигма" следует, что необходимо стремиться к сокращению всех видов потерь, одним из видов которых являются затраты на переделку и лишний контроль [15–18].

На основании проведенного исследования можно рекомендовать устанавливать в документах на технологические процессы и процессы системы менеджмента качества такие показатели их качества как индексы воспроизводимости

и пригодности – C_p и C_{pk} , результаты расчета которых и применение на производстве были продемонстрированы выше. Эти показатели позволяют прогнозировать уровень несоответствий с учетом и без учета настройки процесса на центр поля допуска, оперативно реагировать на изменения результатов технологических процессов, чтобы не допускать возникновения брака, а также позволяет сравнивать между собой разные по своей сути процессы, например, при проведении бенчмаркинга процессов, целью которого является поиск путей совершенствования изучаемых процессов на основе сравнения с лучшими аналогами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Татарченко Д.М. *Металлургия чугуна, железа и стали в общедоступном изложении*. М.: Изд. ГТТИ, 1932. 492 с.
2. Власенко А.В., Скрыбин В.В., Пацук О.В. *Рынок черной металлургии*. Новосибирск: Изд. Центр развития научного сотрудничества, 2016. С. 86–91.
3. Черноситова Е.С. К вопросу о разработке систем менеджмента качества // *Материалы Междунар. научно-практ. интернет-конф. «Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации»*. Белгород: БГТУ, 2006. С. 95–97.
4. Куприянов А.Н. *Перспективы разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий Белгородской области / Молодежь и научно-технический прогресс: материалы X междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. С. 132–134.
5. ГОСТ Р ИСО 11462-1-2007 *Статистические методы. Руководство по внедрению стати-*

стического управления процессами. Часть 1. Элементы. М.: Изд. Стандартинформ, 2007. 24 с.

6. Юракова Т.Г., Черноситова Е.С. Прогнозирование показателей качества искусственных пигментов на основе регрессионного анализа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С.84–87.

7. Денисова Ю.В., Черноситова Е.С., Косухин М.М. Оценка стабильности качества камней бетонных стеновых // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С.93–96.

8. Жулинский С.Ф., Новиков Е.С., Поспелов В.Я. Статистические методы в современном менеджменте качества. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2001. 207 с.

9. Юракова Т.Г., Казаков Д.А. Особенности применения статистических методов управления качеством в машиностроительной отрасли // Материалы Междунар. научно-практ. интернет-конф. «Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации». Белгород: БГТУ, 2016. С.193–196.

10. EN 10025-2:2004 Изделия горячекатаные из конструкционных сталей. Часть 2. Технические условия поставки для нелегированной конструкционной стали. М.: МНТКС, 2004. 38 с.

11. Колосков М.М., Долбенко Е.Т., Кашировский Ю.В., Зубченко А.С. Марочник стали и сплавов. М.: Изд. Машиностроение, 2003. 784 с.

12. Сорокин В.Г., Гервасьев М.А. Стали и сплавы. Марочник. М.: Изд. Интермет Инжиниринг, 2001. 608 с.

13. ГОСТ Р 50779.46 –2012 Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процессов. М.: Изд. Стандартинформ, 2012. 43 с.

14. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением" (ТР ТС - 032/2013). М.: МНТКС, 2013. 81 с.

15. Масаки Имаи Кайдзен. Ключ к успеху японских компаний. М.: Изд. Альпина Паблишер, 2011. 274 с.

16. Виноградова А.Ю. Применение инструментов контроля качества при производстве металлопродукции в ПАО ЧМК. М.: Изд. Интермет Инжиниринг, 2017. С. 63–66:

17. Курбан В. В., Салганик В. М., Песин А. М., Федоров Д. С. Совершенствование системы управления качеством холодного и горячего проката в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». М.: Изд. Металлургиздат, 2011. С.63–67.

18. Андросенко М.В. Современные инструменты контроля качества продукции. Курск: Изд. ИП Пучков И.И., 2015. С. 29–31

Yurakova T.G., Chernositova E.S., Levitskaya K.M.

TOPICAL ISSUES OF ENSURING THE QUALITY OF STEEL AS A MAIN COMPONENT OF ENGINEERING PRODUCTS

The results of statistical processing of data on the quality of the steel used for the manufacture of seamless pipes are presented. The calculated indices of the technological processes of production and estimated actual and the predicted level of defective products. Recommendations on the use of indices of potential of the processes in the quality control of products.

Key words: *steel, statistical processing of data on the quality, indexes of the capabilities of processes, the level of defective products.*

Юракова Татьяна Геннадиевна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: tatjana.2006@mail.ru

Черноситова Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ES-Helen@ya.ru

Левицкая Ксения Михайловна, студент кафедры стандартизации и управления качеством.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: levickayalevickaya@gmail.com