

УДК 621.771

Кривцова О. Н.
Кузьминова Н. Ю.
Вдовин С. В.
Романов Р. Ю.

КАЧЕСТВО ОЦИНКОВАННОГО ПРОКАТА: ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОНТРОЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Одним из способов борьбы с коррозией, наиболее широко применяемым в мировой практике является нанесение цинковых покрытий на поверхность металла. Одной из главных тенденций современного производства и потребления оцинкованного металла является улучшение качества конечного продукта и снижение затратности процесса [1]. Качество характеризуется различными показателями. Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих качество продукции [2].

На АО «ArcelorMittal Temirtau» процесс цинкования осуществляется на линии непрерывного горячего цинкования (ЛНГЦ). Основными показателями качества оцинкованной стальной полосы, подвергающимся контролю на ЛНГЦ, являются: механические свойства: предел текучести σ_m , предел прочности σ_b , относительное удлинение δ . Помимо механических свойств производится мониторинг и контроль геометрии продукции – значений толщины $h_{факт}$ оцинкованной полосы. Изменение этих показателей влечет за собой изменение качества готовой продукции, требования к которой предъявляются заказчиком. Снижение качества готовой продукции приводит к образованию брака и, следовательно, приносит дополнительные затраты в процесс производства.

Для контроля показателей качества оцинкованных стальных полос, полученных в процессе горячего цинкования, авторами работы [3] проведены исследования, в результате которых получены зависимости, позволяющие смоделировать влияние процесса цинкования на изменение показателей качества полосы, что способствовало корректировке контрольных характеристик процесса цинкования для предупреждения появления несоответствующей стандартам продукции. Для выявления причин образования брака в работах [2, 4] продемонстрирована возможность выявления с помощью статистических методов технологических факторов и показателей качества, влияющих на образование брака.

Целью данной работы является исследование и анализ качества оцинкованного стального проката, полученного на ЛНГЦ в условиях АО «ArcelorMittal Temirtau», из стали марки 08кп по совокупности показателей: геометрии продукции (толщины) и механических свойств. Объект исследования – линия непрерывного горячего цинкования (ЛНГЦ) АО «ArcelorMittal Temirtau». Предмет исследования – оцинкованные стальные полосы, полученные на линии непрерывного горячего цинкования АО «ArcelorMittal Temirtau», их показатели качества.

Цель достигается решением следующих задач.

1. Предварительной обработкой массива данных. Построением и анализом гистограмм распределения показателей качества.
2. Оценкой соответствия показателей качества предъявляемым требованиям по коэффициенту годности C_p .
3. Оценкой причин недостижения качества оцинкованного проката с помощью методов ранжирования.

Научной новизной данной работы является применение методов ранжирования для выявления значимости показателей качества при формировании брака оцинкованной стали марки 08кп.

Определение последовательности измеренных значений технологических факторов и показателей качества позволит определить технологические причины в нарушении требований регламента качества оцинкованного проката по ГОСТ 14918-80 и СТ АО 37428679-05-2007 [5, 6].

В работе использовались статистические методы оценки качества, методы ранжирования показателей качества.

Исходный массив данных, полученных на производстве, включал в себя 518 плавку из 518 рулонов оцинкованного проката из стали марки 08кп за период с января по июль 2017 г., производимого по ГОСТ 14918-80 и СТ АО 38428679-05-2007, с толщинами $h_{теор} = 0,25-0,70$ мм. Выборка включала данные проката с фактической толщиной $h_{факт}$ и механическими свойствами: σ_m , МПа – предел текучести; σ_b , МПа – предел прочности; δ , % – относительное удлинение. Из общего массива данных были отобраны кластеры с наименьшей $h_{теор\ min} = 0,25$ мм, средней $h_{теор\ ср} = 0,45$ мм наибольшей $h_{теор\ max} = 0,70$ мм теоретическими толщинами металла.

Первым шагом исследования являлось проведение статистической обработки отобранных кластеров данных, включающей в себя: проверку на наличие грубых ошибок, проверку на однородность выборок, на нормальность их распределения, получение описательных статистических характеристик выборок.

Проверку выборок на наличие грубых ошибок производили по критерию Стьюдента [7]. Критические значения распределения Стьюдента находили по максимальному d_{max} и минимальному d_{min} отклонению при доверительной вероятности 95 %, что соответствует уровню значимости $P = 5$ %, а также при доверительной вероятности 99,90 %, что соответствует уровню значимости $P = 0,10$ %. Проверка показала, что исследуемые выборки не содержат грубых ошибок.

Проверка на однородность выборок, производимая с помощью коэффициента вариации, показала однородность всех выборок по рассматриваемым кластерам металла [7].

Проверку на нормальность распределения выборок проводили путем анализа показателей асимметрии и эксцесса [7]. Проверка показала, что закон нормального распределения выполняется.

После проведения проверок кластеров толщин металла выполнили расчет описательных статистических характеристик показателей качества. Расчет выполняли в среде MS Excel с применением инструмента «Описательная статистика» из надстройки «Анализ данных». В табл. 1 представлены результаты описательной статистики показателей качества для плавков с толщинами, равными $h_{теор} = 0,25$ мм, $h_{теор} = 0,45$ мм.

Таблица 1

Статистические характеристики показателей качества для кластеров с $h_{теор} = 0,25$ мм, $h_{теор} = 0,45$ мм

Статистические характеристики	$h_{теор} = 0,25$ мм				$h_{теор} = 0,45$ мм			
	$h_{факт}$, мм	σ_m , МПа	σ_b , МПа	δ , %	$h_{факт}$, мм	σ_m , МПа	σ_b , МПа	δ , %
n	24	24	24	24	100	100	100	100
x_{max}	0,27	480	500	33	0,47	435	70	38
x_{min}	0,21	360	390	119	0,38	305	370	24,50
$x_{ср}$	0,237	412,50	446,87	25,52	0,423	359,85	417,70	32,18
S^2	0,00018	895,65	682,20	13,66	0,0004	738,10	361,80	7,03
S	0,0135	29,92	26,11	3,69	0,02	27,16	19,02	2,65
A_S	0,75	0,44	0,18	0,11	0,26	0,31	0,06	-0,35
E_S	1,53	0,19	-0,09	-0,62	-0,82	-0,30	0,17	0,38
R	0,06	120	110	14	0,09	130	100	13,50

Примечание: n – объем выборки; x_{max} – наибольшее значение выборки; x_{min} – наименьшее значение выборки; x_{cp} – среднее значение по выборке; S^2 – дисперсия выборки; S – среднее квадратичное отклонение; A_S – асимметрия выборки; E_S – эксцесс выборки; R – размах выборки.

В табл. 2 представлены результаты описательной статистики показателей качества для кластера плавок металла с толщиной $h_{теор} = 0,70$ м.

Таблица 2

Статистические характеристики показателей качества для кластера с толщиной $h_{теор} = 0,70$ мм

Статистические характеристики	$h_{теор} = 0,70$ мм			
	$h_{факт}$, мм	σ_m , МПа	σ_b , МПа	δ , %
n	6	6	6	6
x_{max}	0,69	365	420	37
x_{min}	0,66	300	395	32
x_{cp}	0,66	330,83	409,16	35
S^2	0,00014	924,16	94,16	5,20
S	0,012	30,40	9,70	2,28
A_S	1,95	0,04	-0,63	-0,30
E_S	3,65	-3,10	-1,24	-2,47
R	0,03	65	25	5

После проведения статистической обработки были построены гистограммы распределения показателей качества. В качестве наглядного примера на рис. 1 представлены гистограммы распределения показателей качества для кластера толщин $h_{теор} = 0,45$ мм.

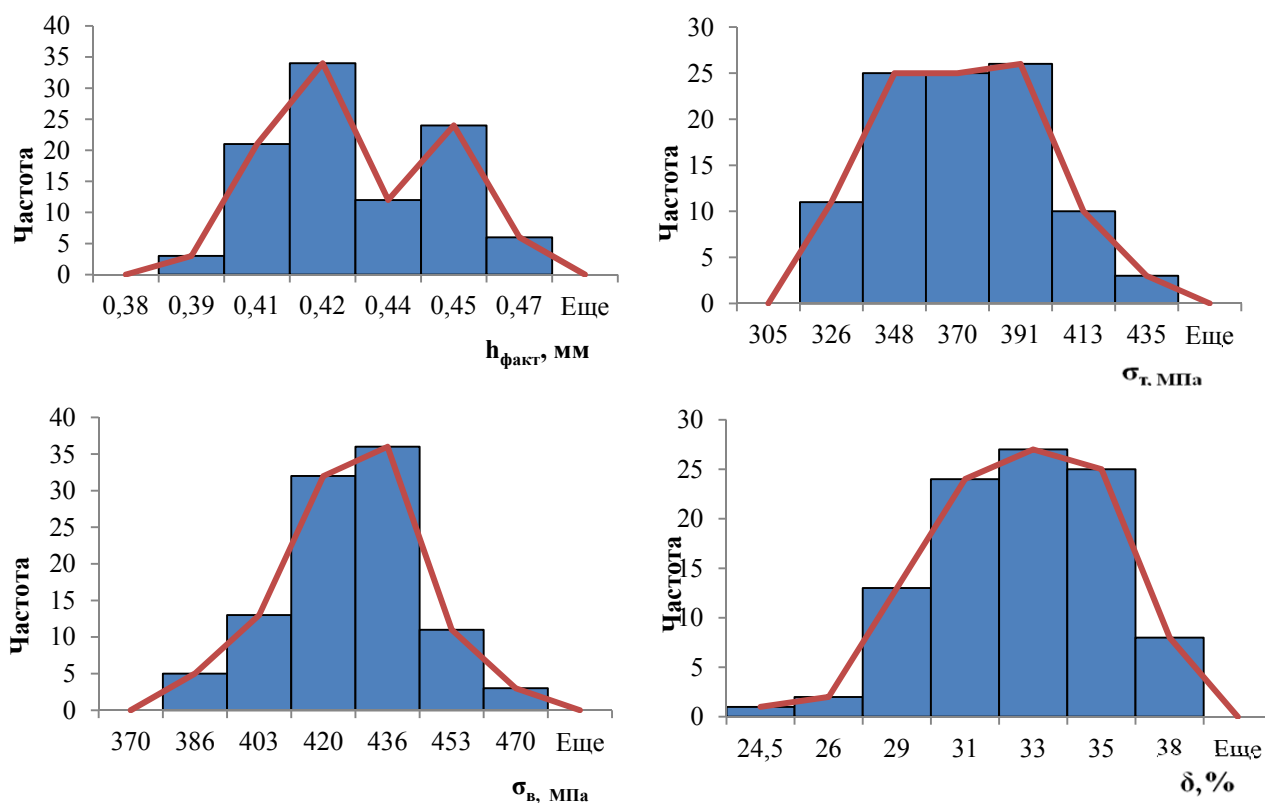


Рис. 1. Распределения показателей качества для кластера металла толщиной $h_{теор} = 0,45$ мм

Из рис. 1 видно, что все гистограммы распределения имеют в целом нормальный вид. Аналогичным образом гистограммы распределения остальных показателей качества для всех кластеров металла представляют собой вариант нормы.

Следующим этапом в проведении исследования была оценка показателей качества с помощью коэффициента годности C_p по ныне действующей и ранее действующей на производстве системам оценивания качества [8]. Результаты расчета сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета коэффициента годности C_p

Искомая величина	$h_{теор} = 0,25$ мм		$h_{теор} = 0,45$ мм		$h_{теор} = 0,70$ мм	
	$h_{факт}$, мм	σ , МПа	$h_{факт}$, мм	σ , МПа	$h_{факт}$, мм	σ , МПа
S_U	0,2779	490	0,4731	490	0,7066	490
S_L	0,1979	300	0,3731	300	0,6266	300
C_p 6-кратное увеличение	1 Не соответствует	1,21 Соответствует	0,83 Не соответствует	1,66 Удовлетворительное качество	1,10 Соответствует	3,26 Удовлетвори- тельное качество
C_{p1} 3-кратное увеличение	1,97	2,42	1,66	3,32	2,20	6,52
	Удовлетворительное качество					

Как видно из таблицы, предъявляемым требованиям не удовлетворяет только показатель качества фактическая толщина металла при теоретической толщине, равной 0,45 мм по современной системе оценивания качества, однако по ранее действующей на производстве системе оценивания качества параметр является удовлетворительным. Остальные же показатели качества соответствуют требованиям стандартов или же являются удовлетворительными.

Далее произвели ранжирование показателей качества оцинкованной стальной полосы по степени значимости влияния на процесс формирования брака при помощи t -критерия Стьюдента. Рассчитали данный критерий для всех показателей качества по формуле 1 [9]:

$$t = \frac{|x_{cp} - \mu| \cdot \sqrt{n}}{S}, \quad (1)$$

где S – стандартное отклонение выборки.

Полученные значения критерия проверили на предмет попадания в критическую область. Критические значения нашли как квантиль распределения Стьюдента со степенью свободы $k = n - 1$ (2) [2]:

$$t_{кр} = t_{\alpha, k} (n - 1, 1 - \alpha/2), \quad (2)$$

где α – уровень значимости критерия;

n – объем выборки.

Если абсолютные значения t -критерия меньше критического $|t| < t_{кр}$, то принимается гипотеза о равенстве средних значений, в противном случае она отвергается [2]. В контексте поставленной задачи именно факт отвержения гипотезы для какого-либо показателя качества может указывать на появление дефекта при получении оцинкованного проката рассматриваемых кластеров толщин. Результаты расчета сведены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что расчетные значения одновыборочного t -критерия Стьюдента для всех показателей качества рассматриваемых кластеров металла толщинами $h_{теор}$ больше критических значений. Данные показатели качества оказывают влияние на формирование брака. Все факторы, выступающие в роли потенциальных причин брака, с соответствующими им значениями t -критерия Стьюдента в процентном соотношении представлены на круговых диаграммах (рис. 2–4). На рис. 2 представлена круговая диаграмма, отображающая влияние в процентах всех показателей качества кластера металла толщиной $h_{теор} = 0,25$ мм при формировании брака.

Таблица 4

Результаты расчета одновыборочного t -критерия Стьюдента

Показатель качества	Средние значения по стандарту μ	Расчетное значение критерия $ t $	Критическое значение критерия $t_{кр}$	Соблюдение условия $ t < t_{кр}$
$h_{теор} = 0,25$ мм				
$h_{факт},$ мм	0,35	40,65	2,0687	Не соблюдается
$\sigma_m,$ МПа	230,00	29,87		Не соблюдается
$\sigma_b,$ МПа	395,00	9,72		Не соблюдается
$\delta,$ %	19,00	8,64		Не соблюдается
$h_{теор} = 0,45$ мм				
$h_{факт},$ мм	0,35	36,57	1,9840	Не соблюдается
$\sigma_m,$ МПа	230,00	47,79		Не соблюдается
$\sigma_b,$ МПа	395,00	11,93		Не соблюдается
$\delta,$ %	19,00	49,68		Не соблюдается
$h_{теор} = 0,70$ мм				
$h_{факт},$ мм	1,50	168,54	2,5706	Не соблюдается
$\sigma_m,$ МПа	230,00	8,12		Не соблюдается
$\sigma_b,$ МПа	395,00	3,57		Не соблюдается
$\delta,$ %	21,00	15,03		Не соблюдается

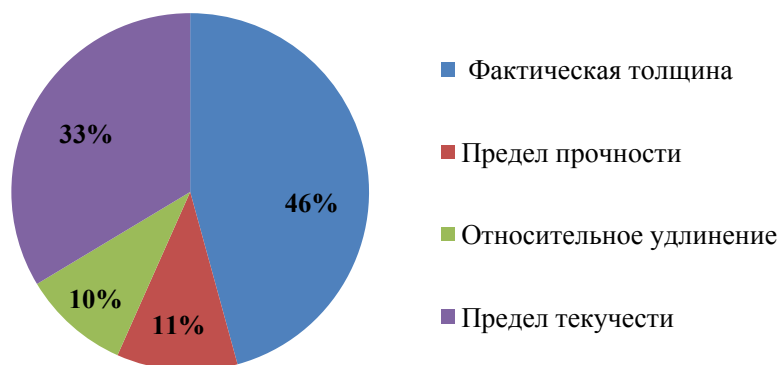


Рис. 2. Использование t -критерия Стьюдента в качестве веса показателя-причины брака для металла толщиной $h_{теор} = 0,25$ мм

Из рис. 2 можно сделать вывод, что последовательность показателей качества при формировании брака металла теоретической толщиной $h_{теор} = 0,25$ мм следующая:

1. Фактическая толщина металла $h_{факт},$ мм.
2. Предел текучести, МПа.
3. Предел прочности, МПа.
4. Относительное удлинение, %.

На рис. 3 представлена круговая диаграмма, отображающая влияние в процентах всех показателей качества кластера толщин $h_{теор} = 0,45$ мм в формировании брака.

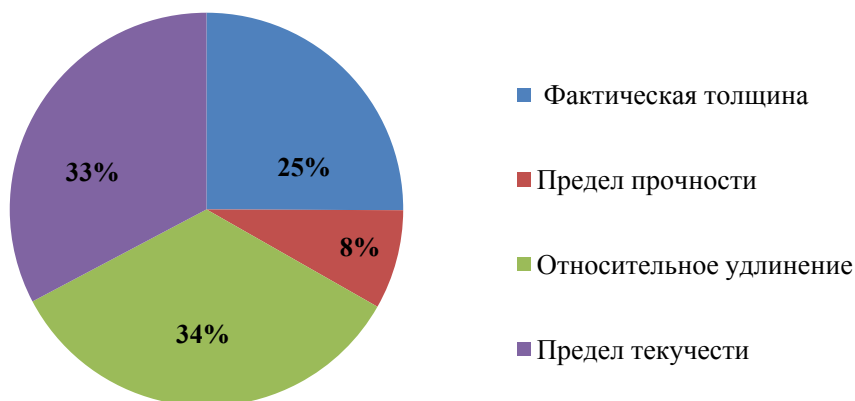


Рис. 3. Использование t -критерия Стьюдента в качестве веса показателя-причины брака для металла толщиной $h_{теор} = 0,45$ мм

Из рис. 3 видно, что последовательность показателей качества при формировании брака металла теоретической толщиной $h_{теор} = 0,45$ мм следующая:

1. Относительное удлинение, %.
2. Предел текучести, МПа.
3. Фактическая толщина металла $h_{факт}$, мм.
4. Предел прочности, МПа.

На рис. 4 представлена круговая диаграмма, отображающая влияние всех показателей качества в формировании брака в кластере толщиной $h_{теор} = 0,70$ мм.

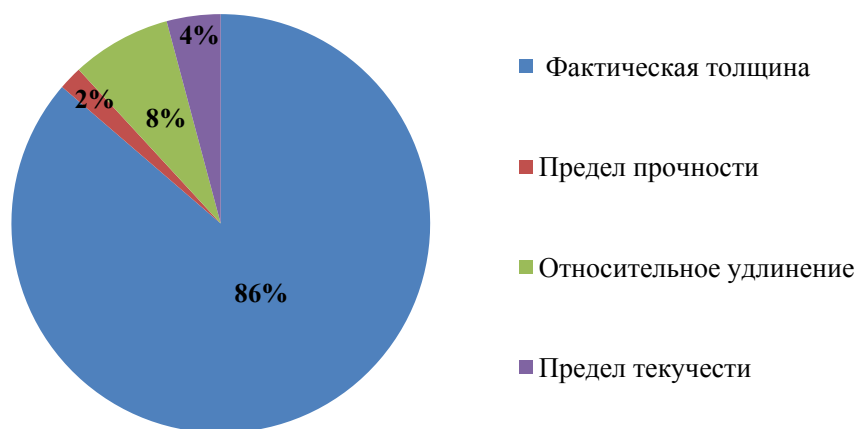


Рис. 4. Использование t -критерия Стьюдента в качестве веса показателя-причины брака для толщины металла $h_{теор} = 0,70$ мм

На рис. 4 можно наблюдать следующую последовательность показателей качества при формировании брака металла теоретической толщиной $h_{теор} = 0,70$ мм:

1. Фактическая толщина металла $h_{факт}$, мм.
2. Относительное удлинение, %.
3. Предел текучести, МПа.
4. Предел прочности, МПа.

Из рис. 4 также видно, что вклад относительного удлинения, предела текучести, предела прочности в процесс формирования брака незначителен и составляет соответственно: 8, 4, 2 %, т. е. диаграмма указывает на почти идеальное качество исследуемой стали марки 08кп по данным показателям качества при теоретической толщине $h_{теор} = 0,70$ мм.

Для наглядности уточнения значений факторов, вызывающих возникновение брака, сведем все показатели качества рассматриваемых кластеров оцинкованного металла в соответствии с их ранжированием в табл. 5.

Таблица 5

Степень влияния факторов, вызывающих возникновение брака по результатам ранжирования

Показатели качества	Кластеры металла, толщинами		
	$h_{теор} = 0,25$ мм	$h_{теор} = 0,45$ мм	$h_{теор} = 0,70$ мм
Фактическая толщина, мм	1	3	1
Предел текучести, МПа	2	2	3
Предел прочности, МПа	3	4	4
Относительное удлинение, %	4	1	2

Из табл. 5 нетрудно заметить, что частота возникновения дефекта по технологическому показателю «фактическая толщина металла, мм» встречается в кластерах толщинами 0,25 и 0,70 мм. Показатель качества «предел текучести, МПа» служит причиной образования брака в кластерах толщинами 0,25 и 0,45 мм. Факт образования брака по показателю качества «предел прочности, МПа» встречается в кластерах толщинами 0,45 и 0,70 мм. Частота случаев образования брака по причине «относительное удлинение, %» не имеет повторения в кластерах.

В результате сопоставления результатов выявления и ранжирования причин возникновения брака в условиях производства оцинкованного металла данный методологический подход позволил выявить последовательность следующих кластеров, наиболее подверженных браку (по убыванию): $h_{теор} = 0,25$ и 0,70 мм – по технологическому фактору «фактическая толщина металла»; $h_{теор} = 0,25$ и 0,45 мм – по показателю качества «предел текучести»; $h_{теор} = 0,45$ и 0,70 мм – по показателю качества «предел прочности». Часть продукции оцинкованного металла теоретической толщиной $h_{теор} = 0,25$ мм наиболее сильно связана с образованием дефектов, наименее – металл теоретической толщиной $h_{теор} = 0,45$ мм.

ВЫВОДЫ

Использовался массив данных по оцинкованному прокату из стали марки 08кп, производимого по ГОСТ 14918-80 и СТ АО 38428679-05-2007, толщинами $h_{теор} = 0,25 \div 0,70$ мм в условиях ЛНГЦ АО «ArcelorMittal Temirtau». Для отобранных полос толщинами 0,25 мм; 0,45 мм, 0,70 мм в качестве показателей качества проката выбраны: предел текучести σ_m , МПа; предел прочности σ_v , МПа; относительное удлинение δ , %; значение фактической толщины металла $h_{факт}$, мм.

Для всех выборочных данных проведена полная статистическая обработка.

Анализ гистограмм распределения показателей качества показал отклонение от нормы распределения только по значениям фактических толщин металла $h_{факт}$ и предела текучести σ_m .

Произведена оценка показателей качества с помощью коэффициента годности C_p .

Произведена оценка причин недостижения качества стального оцинкованного проката по t -критерию Стьюдента.

Ранжирование характеристик, соответствующих формированию брака позволит приятно автоматизировать последовательность измеренных значений по технологическим факторам и показателям качества с целью оптимизации технологического процесса для предотвращения нарушений требований ГОСТ и СТ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субботина Ю. М. Технологические особенности агрегатов непрерывного горячего цинкования стальной полосы / Ю. М. Субботина, Л. В. Радионова // Вестник ЮУрГУ. – 2016. – № 1. – С. 112–119.

2. Кузнецов Л. А. Автоматизация методики анализа причин брака / Л. А. Кузнецов, Н. П. Дорин // *Методы менеджмента качества.* – 2011. – № 2. – С. 46–53.
3. К вопросу создания модели изменчивости показателей качества оцинкованного проката в зависимости от режимов цинкования / М. И. Румянцев [и др.] // *Производство проката.* – 2011. – № 3. – С. 22–25.
4. Статистический анализ и прогнозирование механических свойств катанки на новом мелкосортно-проволочном стане / А. А. Пономарев [и др.] // *Производство проката.* – 2011. – № 1. – С. 32–36.
5. ГОСТ 14918-80. Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия. – Взамен ГОСТ 14918-69 ; введ. 1981–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 8 с.
6. СТ АО 38428679-05–2007. Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия. – Взамен ТУ 3500 РК 01440 ОАО-044-2002 ; введ. 2007–06–15. – Темиртау: СМК АО «ArcelorMittal Temirtau», 2007. – 6 с.
7. Львовский Е. Н. Статистические методы построения формул / Е. Н. Львовский. – М. : Высш. шк., 1998. – 239 с.
8. Управление качеством и сертификация / Васильев В. А., Каландаришвили Ш. Н., Новиков В. А. и др. – М. : Интермет Инжиниринг, 2002. – 416 с.
9. Шиндовский Э. Статистические методы управления качеством / Э. Шиндовский, О. Шюрц. – М. : Мир, 1976. – 600 с.

REFERENCES

1. Subbotina Ju. M. Tehnologicheskie osobennosti agregatov nepreryvnogo gorjachego cinkovaniya stal'noj polosy / Ju. M. Subbotina, L. V. Radionova // *Vestnik JuUrGU.* – 2016. – № 1. – S. 112–119.
2. Kuznecov L. A. Avtomatizacija metodiki analiza prichin braka / L. A. Kuznecov, N. P. Dorin // *Metody menedzhmenta kachestva.* – 2011. – № 2. – S. 46–53.
3. K voprosu sozdaniya modeli izmenchivosti pokazatelej kachestva ocinkovannogo prokata v zavisimosti ot rezhimov cinkovaniya / M. I. Rumjancev [i dr.] // *Proizvodstvo prokata.* – 2011. – № 3. – S. 22–25.
4. Statisticheskij analiz i prognozirovanie mehanicheskikh svojstv katanki na novom melkosortno-provolochnom stane / A. A. Ponomarev [i dr.] // *Proizvodstvo prokata.* – 2011. – № 1. – S. 32–36.
5. GOST 14918-80. Stal' tonkolistovaja ocinkovannaja s nepreryvnyh linij. Tehnicheskie uslovija. – Vzamen GOST 14918-69 ; vved. 1981–07–01. – M. : Izd-vo standartov, 1981. – 8 s.
6. ST AO 38428679-05–2007. Stal' tonkolistovaja ocinkovannaja s nepreryvnyh linij. Tehnicheskie uslovija. – Vzamen TU 3500 RK 01440 ОАО-044-2002 ; vved. 2007–06–15. – Temirtau: SMK AO «ArcelorMittal Temirtau», 2007. – 6 s.
7. L'vovskij E. N. Statisticheskie metody postroenija formul / E. N. L'vovskij. – M. : Vyssh. shk., 1998. – 239 s.
8. Upravlenie kachestvom i sertifikacija / Vasil'ev V. A., Kalendarishvili Sh. N., Novikov V. A. i dr. – M. : Intermet Inzhiniring, 2002. – 416 s.
9. Shindovskij Je. Statisticheskie metody upravlenija kachestvom / Je. Shindovskij, O. Shjurs. – M. : Mir, 1976. – 600 s.

Кривцова О. Н. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. ОМД КГИУ;

Кузьминова Н. Ю. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОМД КГИУ;

Романов Р. Ю. – студент КГИУ;

Вдовин С. В. – вед. спец. АО « ArcelorMittal Temirtau».

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан.

E-mail: krivcova60@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.03.2017 г.