

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 38

Москва
Новокузнецк
2017

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 38 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянец (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2017 – 230 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 45, табл. 28, библиогр. назв. 222.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянец М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спиринов Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., АО «Евраз – ЗСМК», г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ
АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Базайкин В.И.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Деев В.Б.	д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
Дорофеев В.В.	д-р техн. наук, АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк
Козырев Н.А.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Селянин И.Ф.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	8
<i>Чжан Кэ</i>	
Проектно-исследовательский институт цветной металлургии Китая: научно-технологический потенциал, проектирование, строительство, инжиниринг, рециклинг горно-металлургических, энергетических и водохозяйственных объектов	9
<i>И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов</i>	
Влияния щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe в нейтральной среде	13
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании	22
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на организацию предварительного влагоудаления на участке окомкования в производстве железорудных окатышей	30
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на управление процессом зародышеобразования в производстве окатышей, основанном на принудительном зародышеобразовании	37
<i>В.Б. Деев, Е.С. Прусов, С.В. Сметанюк, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева</i>	
Влияние железа на характер кристаллизации, литейные и механические свойства заэвтектического силумина	43
<i>М.В. Темлянец, К.С. Коноз, О.В. Кузнецова, Э.Я. Живаго, В.Я. Целлермаер</i>	
Исследование высокотемпературного окисления рессорно-пружинной стали марки 40С2 и особенностей строения ее окарины	48
<i>А.А. Уманский, В.В. Дорофеев, А.В. Головатенко, В.Н. Кадыков, А.В. Добрянский</i>	
Совершенствование режимов прокатки острых рельсов на универсальном рельсобалочном стане	55
<i>Е.С. Прусов, В.Б. Деев</i>	
Перспективы применения ультразвука при вводе наночастиц в алюминиевые расплавы	64
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков</i>	
Поиск оптимальных технологических параметров режима работы рельсосварочной машины К1000	70
<i>Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, П.Е. Шишкин, Н.А. Козырев, В.И. Базайкин</i>	
Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000	76
<i>Р.А. Шевченко, В.И. Базайкин, С.Н. Кратько, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев</i>	
Анализ токового режима работы сварочной машины К1000 при сварке рельсов на этапе оплавления	81
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	88
<i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i>	
Термодинамическое моделирование плазмосинтеза карбида циркония	89
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>	
Исследование механизма плазмосинтеза диборида титана	97

<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>	
Окисление нанокристаллического диборида титана при хранении и нагревании в воздушной среде.....	107
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	117
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчеты энергии атомных систем в приближении постоянной электронной плотности.....	118
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Исследование взаимодействия электронных оболочек атомов с различным набором квантовых чисел	123
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Выполнение теоремы Купманса в приближении постоянной электронной плотности.....	128
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчет корреляционной поправки первого порядка в модели постоянной электронной плотности.....	133
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчет корреляционной поправки в движении электронов в поле точечного положительного заряда ядра.....	142
<i>А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский</i>	
Свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co	147
<i>И.В. Осетковский, Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Р.Е. Крюков, М.В. Попова</i>	
Свойства металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V.....	155
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	163
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, В.С. Александров</i>	
Мировое и отечественное производство алюминия: оценка, тенденции, прогнозы.....	164
<i>Т.А. Михайличенко, А.Г. Гальчун</i>	
Использование возобновляемых биоэнергетических ресурсов в разных странах.....	171
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	175
<i>Д.И. Оршанский, Е.Г. Оршанская</i>	
Личностно ориентированная модель деятельности современного преподавателя	176
<i>Т.Г. Моисеенко</i>	
Формы и методы повышения квалификации учителей.....	182
<i>Е.Г. Оршанская</i>	
Мастер-класс как средство повышения уровня владения иностранным языком	186
<i>Ю.К. Осипов</i>	
Архитектура, образование, проблемы и реальность.....	193
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ	197
<i>Г.Г. Волокитин</i>	
Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология алюминиевого производства» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Наука : Флинта, 2017 – 265 с.).....	198
<i>Г.Г. Волокитин</i>	
Рецензия на учебное пособие «Технологические и конструктивные измерения и расчеты в производстве алюминия» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Флинта : Наука, 2017. – 218 с.).....	200

<i>Н.В. Немчинова</i>	
Рецензия на монографию «Применение буроугольного полукокса в процессах металлизации и карбидизации техногенного металлургического сырья» (Авторы Аникин А.Е., Галевский Г.В. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 156 с.)	202
<i>В.В. Лавров</i>	
Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетягко, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.)	205
<i>В.В. Дорофеев</i>	
Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетягко, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.)	207
<i>Ф.И. Иванов</i>	
Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой	209
<i>А.В. Маркидонов</i>	
Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой	211
<i>А.Н. Смирнов</i>	
Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева	213
<i>В.А. Москинов</i>	
Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева	214
<i>Е.П. Вольнкина</i>	
Рецензия на монографию Л.Б. Павлович, А.В. Салтанова, Н.Ю. Соловьевой «Утилизация отходов в коксохимическом производстве»	216
<i>Б.И. Ермаченко</i>	
Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель – заслуженный архитектор РФ, профессор кафедры архитектуры СибГИУ	218
<i>Г.И. Стороженко</i>	
Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель	220
<i>А.А. Бабенко</i>	
Рецензия на учебное пособие «Энерготехнология твердого топлива» авторы Школлер М.Б., Протопопов Е.В., Юрьев А.Б.	222
К 65-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности Галевского Геннадия Владиславовича	2244
К 65-летию Андрея Ростиславовича Фастыковского	2266
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	2288

УДК 625.143.48

Р.А. Шевченко¹, Н.А. Козырев¹, А.О. Патрушев¹, С.Н. Кратько²,
Р.Е. Крюков¹

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

²ООО «РСП-М» СТРУКТУРНОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
РЕЛЬСОСВАРОЧНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ № 29 (РСП-29)

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕЛЬСОСВАРОЧНОЙ МАШИНЫ К1000

На основе данных производственного контроля была проведена их статистическая обработка средствами множественного регрессионного анализа. На основе полученных моделей определены оптимальные параметры режима сварки. Была проведена апробация данных режимов на рельсосварочном предприятии. Испытания рельсов показали, что качество сварных соединений превышает требования стандартов. При этом значения, предсказанные моделью, были еще выше, чем полученные в ходе испытания.

Based on the production control data, their statistical processing was carried out by means of multiple regression analysis. On the basis of the models obtained, the optimal parameters of the welding regime are determined. Approbation of these regimes at the rail welding plant was carried out. The tests of the rails showed that the quality of the welded joints exceeds the requirements of the standards. The values predicted by the model were even higher than those obtained during the test.

При создании и ремонте бесстыкового железнодорожного пути существуют различные технологии для сварки рельсов. Одними из наиболее применяемых технологий являются: электроконтактная (ЭС) и алюминио-термитная сварка рельсов. В России большое распространение приобрел ЭС. Основную часть рельсов сваривают на стационарных рельсосварочных предприятиях и небольшую часть стыков путевыми рельсосварочными самоходными машинами [1]. В стационарных условиях на предприятии ООО «РСП-М» (РСП-29) сварку производят с помощью машин МСР 63.01, К1000, К1100.

Процесс сварки рельсов электроконтактным способом на машине К1000 разделен на несколько этапов, при этом каждый этап разделен на участки: I этап оплавления (2 участка), II этап оплавления (4 участка), форсировка (2 участка), осадка, гратосъем. Этапы характеризуется режимами

сварки: силой тока I , А; напряжением U , В; величиной перемещения подвижной станины S , мм; давлением в системе P , атм; скоростью перемещения подвижной станины V , мм/с; длительностью этапа T , с. [2].

Во время работы сварочной машины процесс сварки полнопрофильных рельсов контролировался с записью основных параметров в память компьютера. Данные параметры во время процесса сварки фиксировались и сохранялись в базе данных в табличном виде, и при необходимости их можно представить в графическом виде (рисунок 1).

Технология сварки рельсов на РСП включает в себя обязательную сварку контрольных образцов в начале рабочей смены. Свариваются по два образца на каждую сварочную машину, после чего проводят испытание нетермообработанных стыков на трехточечный статический изгиб согласно СТО РЖД 1.08.002-2009 «Рельсы железнодорожные, сваренные электроконтактным способом». Испытания на статический изгиб проводили на прессе типа ПМС-320. Контрольные образцы испытываются после сварки и удаления грата в сварочной машине без дополнительной обработки стыков. При испытаниях на статический поперечный изгиб контрольный образец должен иметь длину не менее 1200 мм со сварным стыком по середине. Нагрузку прикладывали в середине пролета контрольного образца в месте сварного стыка с расстоянием между опорами 1 м. Испытание одного контрольного образца производят, с приложением нагрузки на головку, второй контрольный образец нагружают на подошву. Результатами испытания являются значения усилия, возникающего при изгибе $P_{изг}$, кН и значения стрелы прогиба $f_{пр}$, мм при которых происходит разрушение контрольного образца, либо максимальные значения данных показателей, если образец не разрушился во время испытаний [3, 4].

Для создания математической модели процесса контактной сварки рельсов использовалась имеющаяся база данных параметров сварочных режимов и результатов испытаний сварных соединений. В качестве входных переменных были выбраны: среднее значение тока на каждом участке $I_{ср}$, А; среднее значение напряжения на каждом участке $U_{ср}$, В; длительность осадки под током O_1 , с; величина осадки O , мм; длительность проковки P_r , с; сопротивление стыка R , Ом. В качестве выходных параметров были выбраны результаты испытаний на статический поперечный изгиб: усилия, возникающего при изгибе $P_{изг}$, кН и значения стрелы прогиба $f_{пр}$, мм.

Для каждого участка установлен соответствующий путь S (мм), при прохождении которого сварочная машина устанавливает значения U , I_1 , I_2 , I_3 , $V_в$, $V_н$. Из массива данных (пример представлен в графическом виде на рисунке 1) выбирались значения параметров для каждого участка (U_{ji} , I_{ji}) и определялось среднее значения этих параметров ($U_{jср}$, $I_{jср}$):

$$U_{jср} = \Sigma U_{ji}/p \quad (1)$$

где p – количество значений U_{ji} зафиксированных датчиком на данном участке; U_{ji} – значение напряжения, зафиксированное датчиком в момент оплавления на j -ом участке; U_{jcp} – среднее значение тока на j -ом участке.

$$I_{jcp} = \Sigma I_{ji}/p \quad (2)$$

где p – количество значений I_{ji} зафиксированных датчиком на данном участке; I_{ji} – значение напряжения, зафиксированное датчиком в момент оплавления на j -ом участке; I_{jcp} – среднее значение тока на j -ом участке.

После обработки данных производственного контроля и параметров сварочных режимов были получены данные, которые отражают основные фактические значения сварочных режимов на машине контактной стыковой сварки К1000 и результатов испытаний сварных соединений, состоящие из 60 наблюдений. На основе полученных производственных данных была проведена их статистическая обработка с использованием пакета STATISTICA 10.0. Оценка влияния параметров сварочных режимов на величину усилия, возникающего при изгибе $P_{изг}$ (кН) и значение стрелы прогиба $f_{пр}$ (мм) проводилась средствами множественного регрессионного анализа, который позволяет изучить закономерности изменения результирующего показателя в зависимости от поведения различных факторов [5]. Полученная модель описывающая процесс сварки рельсов Р65 ДТ350 на машине К1000 № 01 в условиях ООО «РСП – М» (РСП – 29) имеет вид:

$$\begin{aligned} P_{изг} = & 18441,49 - 2,69 I_{1cp} - 73,72 U_{1cp} - 1,06 I_{2cp} + 9,98 U_{2cp} + \\ & + 3,98 I_{3cp} - 11,51 U_{3cp} + 1,64 I_{4cp} + 29,45 U_{4cp} + 1,49 I_{5cp} - \\ & - 27,48 U_{5cp} + 19,8 U_{6cp} - 0,54 I_{7cp} + 5,19 U_{7cp} + 593,77 O_1 + 8,03 R; \end{aligned} \quad (3)$$

$$R^2 = 0,72.$$

Для вышеописанных этапов при сварке на данной машине обычно используют значения U_{jcp} и I_{jcp} , приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы значений основных параметров

Параметр	Знак коэф. регрессии (b_i)	Минимум	Максимум	Оптимальные параметры
I_{1cp} , А	–	423,56	520,24	423,56
U_{1cp} , В	–	358,34	362,17	358,34
I_{2cp} , А	–	659,36	790,65	659,36
U_{2cp} , В	+	335,50	346,32	346,32
I_{3cp} , А	+	428,46	499,81	499,81
U_{3cp} , В	–	258,10	269,12	258,10
I_{4cp} , А	+	420,30	487,92	487,92
U_{4cp} , В	+	261,79	267,86	267,86
I_{5cp} , А	+	427,07	489,05	489,05
U_{5cp} , В	–	260,87	273,58	260,87
U_{6cp} , В	+	264,86	276,40	276,40
I_{7cp} , А	–	301,45	438,12	301,45
U_{7cp} , В	+	363,27	391,89	391,89
O_1 , с	+	1,10	1,20	1,20
R , Ом	+	75,00	84,00	84,00

Так как $P_{изг}$ и $f_{пр}$ коррелируют между собой, оптимизацию проводили только по $P_{изг}$ ($R = 0,65 > r_{кр} = 0,273$) [6]. Прогнозируемая величина стрелы прогиба $P_{изг}$ полученная по оптимальным значениям равна 3641,029 кН, когда максимальное фактическое значение 2622 кН.

На каждом участке фактическое среднее напряжение U_{jcp} имеет значение отличающееся заданному U_j . Для определения фактического напряжения по заданному, был проведен регрессионный анализ. В качестве входной переменной было выбрано фактическое среднее значение U_{jcp} , в качестве выходной задаваемое напряжение U_j сварочной машине. Полученное уравнение позволяет определять фактическое среднее значение напряжение:

$$U_j = 0,9425 U_{jcp} + 37,321; R^2 = 0,95 \quad (4)$$

Для определения фактического значения силы тока на каждом этапе I_{jcp} была определена зависимость данного параметра от задаваемых параметров I_1, I_2, I_3, V_B, V_H с помощью регрессионного анализа. В качестве входных переменных были выбраны: I_1, I_2, I_3, V_B, V_H . В качестве выходной переменной I_{jcp} . Для определения значения I_{jcp} на первом и втором этапе оплавления была построена модель, включающая значения только 6-ти участков:

$$I_{jcp} = 91,66 + 3,44 V_B + 1,56 V_H + 1,65 I_1 - 0,72 I_2 - 0,56 I_3; R^2 = 0,95 \quad (5)$$

Для определения значения I_{jcp} на этапе форсировки была построена модель, включающая значения 8-ми участков:

$$I_{jcp} = -281,61 + 5,84 V_B + 7,32 V_H + 3,74 I_1 - 7,13 I_2 + 2,76 I_3; R^2 = 0,88 \quad (6)$$

Используя данные уравнения (4, 5, 6) и оптимальные параметры, приведенные в таблице 1 были определены параметры режима сварки на машине К1000 № 01 (таблица 2).

Задав оптимальные параметры режима сварки на сварочной машине К1000 № 01 в условиях РСП-29 провели сварку контрольного образца рельса Р65 ДТ350. Осциллограмма процесса приведена на рисунке 1.

Таблица 2 – Оптимальные параметры режима сварки на машине К1000

Параметр	№ участка							
	1	2	3	4	5	6	7	8
U, В	375	365	277	290	285	300	405	410
S, мм	20	20	20	20	15	10	35	40
I ₁ , А	150	200	50	80	100	120	150	250
I ₂ , А	250	350	150	180	220	250	340	400
I ₃ , А	350	400	200	250	300	320	440	450
V _B , В·10	110	180	135	130	135	130	125	200
V _H , В·10	70	60	50	60	60	50	50	20
Осадка под током, с	1,2							
Осадка, мм·10	175							
Проковка, с·10	2							

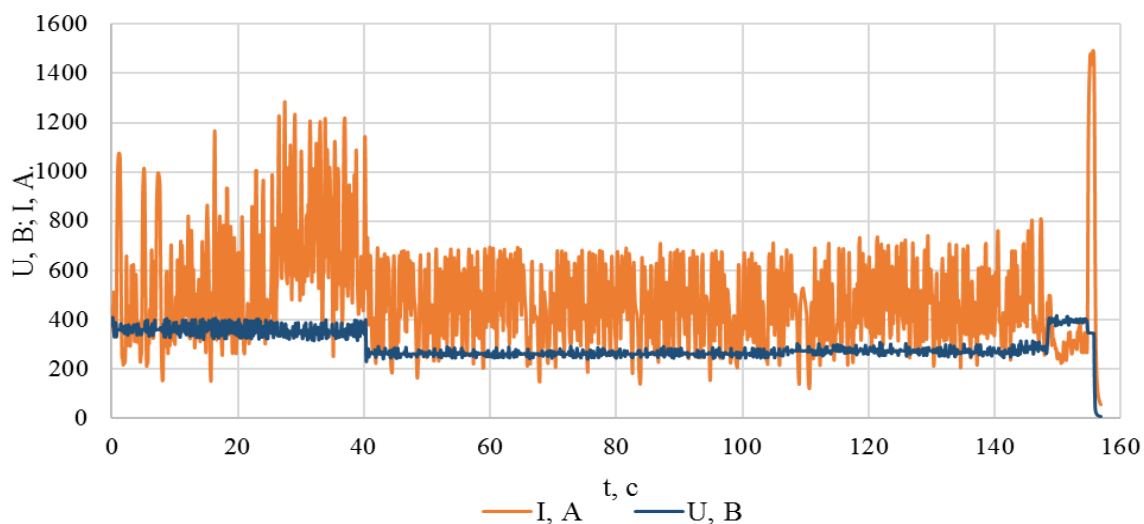


Рисунок 1 – Осциллограммы процесса сварки по заданным режимам

После сварки провели испытание сварного стыка на статический трёхточечный изгиб: усилие изгиба составило $P_{изг} = 2388$ кН и $f_{пр} = 36,6$ мм, что выше нормативных значений (согласно СТО РЖД 1.08.002–2009 $P_{изг} = 2000$ кН и $f_{пр} = 27$ мм), но ниже моделируемого значения $P_{изг} = 3641,03$ кН.

Что бы проверить выдержала ли сварочная машина заданные параметры определили значения U_{jcp} и I_{jcp} для процесса сварки контрольного образца (таблица 3).

Таблица 3 – Интервалы значений основных параметров

Параметр	Оптимальные параметры	Фактические значения параметров
I_{1cp} , А	423,56	500,91
U_{1cp} , В	358,34	361,02
I_{2cp} , А	659,36	756,30
U_{2cp} , В	346,32	350,53
I_{3cp} , А	499,81	461,82
U_{3cp} , В	258,10	260,34
I_{4cp} , А	487,92	456,01
U_{4cp} , В	267,86	272,64
I_{5cp} , А	489,05	451,17
U_{5cp} , В	260,87	267,96
U_{6cp} , В	276,40	285,13
I_{7cp} , А	301,45	307,68
U_{7cp} , В	391,89	391,13
O_I , с	1,20	1,20
R , Ом	84,00	80,00
Моделируемое значение $P_{изг}$, кН	3641,03	2972,60
Фактическое значение $P_{изг}$, кН		2388,00

Таким образом фактические значения параметров по напряжению U_{jcp} соответствуют оптимальным, а по силе тока I_{jcp} не соответствуют, что является одной из причин снижения $P_{изг}$.

Выводы: На основании экспериментальных данных разработана математическая модель процесса контактной сварки рельсов на машине К1000, которая позволяет оценить полноту влияния параметров технологического процесса контактной сварки рельсов на качество сварного шва.

На основании полученной математической модели предложены оптимальные параметры сварки на машине К1000.

Проведена апробация полученных оптимальных параметров в заводских условиях. По результатам испытаний образца, сваренного по предложенным оптимальным параметрам были получены результаты превышающие нормативные требования СТО РЖД 1.08.002–2009, но ниже значений, полученных по математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев Н. А. Современные методы получения бесстыковых рельсов / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, Р. А. Шевченко, П. Е. Шишкин // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов Международной научно-практической конференции 18-21 апреля 2017 года / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 123 - 127.

2. Шевченко Р.А. Статистическая модель управления процессами контактной сварки рельсов / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, А.О. Патрушев, П.Е. Шишкин // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1(19). – С. 4 – 8.

3. Шевченко Р.А Оптимизация технологических параметров процесса контактной стыковой сварки рельсов / Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, Л.П. Бащенко, С.В. Князев // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). – С. 12 – 15.

4. Шевченко Р.А. Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов / Р.А. Шевченко, П. Е. Шишкин, А. О. Патрушев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып.21–ч.II – Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – С. 229-232.

5. Анализ данных в материаловедении. Ч.2. Регрессионный анализ: учеб. пособие / А.С. Мельниченко. – М.: Изд-во Дом МИСиС, 2014. – 87 с.

6. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий /Ю.П. Адлер [и др.] / Академия наук СССР. – Москва: Изд. «Наука», 1976. – 280 с.

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.
Отделение металлургии**

Сборник научных трудов

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Подписано в печать 22.09.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 13,5 Уч.-изд.л. 14,4 Тираж 300 экз. Заказ № 447

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ