

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. Темлянецв (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; Темлянецв 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 окалина	48
<i>А.А. Уманский, В.В. Дорофеев, А.В. Головатенко, В.Н. Кадыков, А.В. Добрянский</i>	
Совершенствование режимов прокатки остряжковых 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

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. Анализ данных в материаловедении. Ч.2. Регрессионный анализ: учеб. пособие / А. С. Мельниченко. – М.: Изд-во Дом МИСиС, 2014. – 87 с.
5. Практикум по теории статистики: Учеб. пособие / Р. А. Шмойлова и [др]; под ред. Р. А. Шмойловой. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.; Финансы и статистические, 2006. – 416 с.

УДК 625.143.48

Р.А. Шевченко¹, В.И. Базайкин¹, С. Н. Кратько², Н.А. Козырев¹,
А.О. Патрушев¹

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

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

**АНАЛИЗ ТОКОВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СВАРОЧНОЙ
МАШИНЫ К1000 ПРИ СВАРКЕ РЕЛЬСОВ НА ЭТАПЕ
ОПЛАВЛЕНИЯ**

Представлены результаты анализа токового режима работы рельсосварочной машины К1100. Используются записи тока в первичной цепи трансформатора К1100 в зависимости от времени в форме дис-

кретных сигналов. Дискретные сигналы зависели от скорости V сближения станин на этапах оплавления рельсового стыка. Сигналы сгруппированы по значениям V , в каждой группе определено среднее значение \bar{I} тока и его характеристики. Построены аппроксимации зависимости \bar{I} от скорости V полиномами второй и третьей степени. Отмечено явное наличие минимума зависимости $\bar{I}(V)$ при любой нелинейной аппроксимации и значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,75$ для кубической модели. Проведён спектральный анализ предварительно отфильтрованных сигналов. Спектр отфильтрованных сигналов получен применением быстрого преобразования Фурье. Для каждого из значений V получены амплитудно-частотные характеристики спектров.

The results of the current mode analysis of the K1100 rail welding machine are presented. The current records in the primary circuit of the K1100 transformer are used as a function of time in the form of discrete signals. The discrete signals depended on the speed V of the approach of the stands at the stages of reflow of the rail joint. The signals are grouped by the values of V , in each group the mean current value \bar{I} and its characteristics are determined. Approximations of the dependence of \bar{I} on the velocity V by polynomials of the second and third degree are constructed. It is noted that there is a minimum of the dependence of $\bar{I}(V)$ for any nonlinear approximation and the value of the determination coefficient $R^2 = 0.75$ for the cubic model. Spectral analysis of pre-filtered signals is carried out. The spectrum of the filtered signals is obtained by applying a fast Fourier transform. For each of the values of V , the amplitude-frequency characteristics of the spectra.

Одним из наиболее распространенных методов сварки рельсов в РФ является электроконтактный способ (ЭС). Данный способ позволяет получить наиболее качественное сварное соединение при строительстве и ремонте бесстыковых путей. Технология и оборудование для ЭС постоянно совершенствуется, при этом создаются новые принципы управления процессами на различных этапах.

Существующие методы управления оплавлением при контактной стыковой сварке осуществляются корректировкой задаваемой скорости оплавления в зависимости от текущего значения тока. Это осуществляется изменением установок начала коррекций скорости (ток коррекции $I_{кор}$), тока $I_{ост}$, останавливающего подачу, и тока $I_{рев}$, дающего команду на реверс. Для этого программируемые значения скорости и тока оплавления, реализующие обратную связь $I_{кор}$, $I_{ост}$, $I_{рев}$, подбирают таким образом, чтобы

фактическое среднее значение тока на осциллограмме было в 2 раза меньше тока короткого замыкания. Это соответствует максимуму электрической мощности, развиваемой в контакте между оплавленными торцами заготовок. Недопустимые отклонения тока форме скачкообразных изменений его величины исключаются благодаря быстродействующей обратной связи. Эта же обратная связь стабилизирует текущее значение сварочного тока.

Корректор скорости оплавления с обратной связью по сварочному току, работает по принципу, показанному на рисунке 1. В точке пересечения кривых мощность, развиваемая машиной (кривая 2), и мощность, необходимая для оплавления деталей (кривая 1), одинаковы, что обеспечивает устойчивое протекание оплавления. При случайном увеличении тока от установившегося значения $I_{уст}$ мощность, развиваемая машиной, оказывается больше мощности, необходимой для оплавления. Избыточная мощность способствует ускорению нагрева и разрушению элементарных контактов и как следствие, увеличению сопротивления искрового промежутка, что сопровождается уменьшением тока до значения $I_{уст}$. При токе, меньшем $I_{уст}$, мощность, развиваемая машиной, оказывается меньше мощности, необходимой для оплавления. Сопротивление искрового промежутка уменьшается, что приводит к восстановлению установившегося значения тока. Если зависимость, отраженную кривой 1 на рисунке 1, использовать, чтобы задавать изменение скорости подачи деталей в функции тока, то такой корректор скорости обеспечит устойчивое оплавление по току [1].

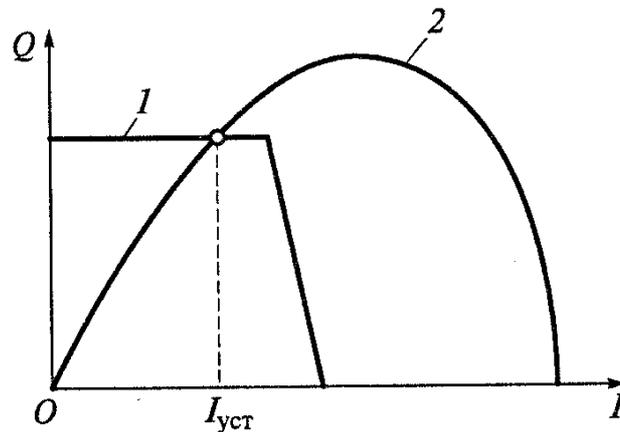
В работе [1] приведено уравнение корректора, в котором зависимой величиной от текущего значения тока является напряжение на якоре электродвигателя привода перемещения подвижной плиты машины. После замены его на скорость перемещения подвижной плиты получим следующее уравнение корректора:

$$\Delta V = k (I_1(t) - I_0 + \delta) \text{ при } I_1(t) - I_0 > \delta; \quad (1)$$

где ΔV – изменение скорости перемещения подвижной плиты; k – коэффициент пропорциональности; $I_1(t)$ – текущее значение тока; I_0 – заданное (установка) значение тока; δ – зона нечувствительности схемы сравнения.

Из выражения (1) следует, что для нормальной работы корректора скорости необходимо постоянство среднего значения тока в течении всего времени сварки. При форсировке режим предусматривает нарастание тока перед осадкой, то подаются ложные команды на снижение скорости подачи деталей.

Данный подход является наиболее простым, регулирование оплавлением осуществляется линейно. Что не может в полной мере воспринимать и учитывать сложные процессы искрового промежутка. Ранее в работе [2] была проведена оптимизация режимов сварки, регулирование которых осуществлялось вышеописанным методом.



1 – мощность, необходимая для оплавления; 2 – мощность, развиваемая машиной;
 $I_{уст}$ – установившееся значение тока

Рисунок 1 – Зависимость мощности, необходимой для оплавления деталей, и мощности развиваемой машиной, от тока

В настоящей работе рассмотрены некоторые результаты анализа работы рельсосварочной машины К1100 производства Каховского завода электросварочного оборудования (Украина), предназначенной для контактной сварки, работающей в режиме пульсирующего оплавления.

Использованы записи тока в первичной цепи трансформатора сварочной машины в зависимости от времени в форме дискретных сигналов, время дискретизации $T = 0,1$ с, длительность N сигналов как конечных последовательностей равна 32. Рассматривались токовые дискретные сигналы при варьировании скорости V сближения станин при оплавлении: 0,02; 0,03; 0,05; 0,06; 0,08 мм / с. Для каждого значения V были проведены от 4 до 10 выборок с записями дискретных сигналов. На рисунке 2 представлена типовая запись сигнала.

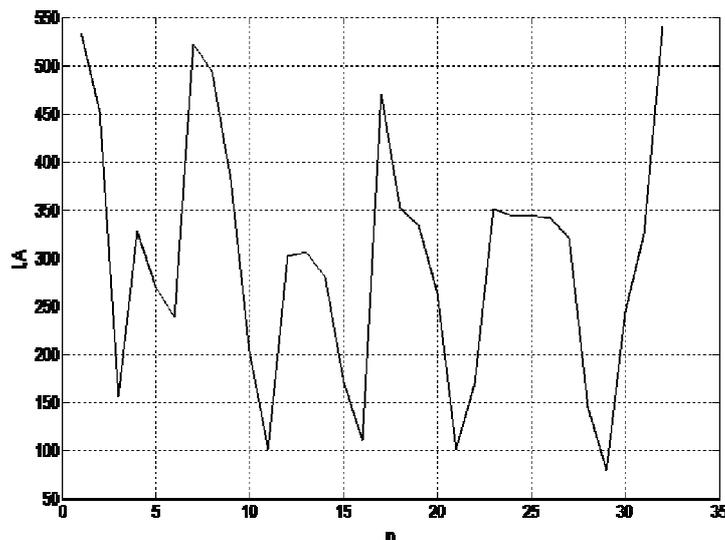


Рисунок 2 – Типовая запись значений тока при сварке

Построение графиков сигналов в матричной системе MATLAB [3] сопровождается первичной статистической обработкой сигналов как динамических рядов. На этом этапе из совокупности обработанных сигналов были удалены некоторые из них с заметно эксцессивными признаками (выбросы). Остальные сгруппированы по значениям скорости V , в каждой группе определено среднее значение \bar{I} тока и среднее квадратичное отклонение значений от \bar{I} . Результаты показаны в следующей таблице:

Таблица 1 – Результаты статистической обработки данных в MATLAB

V , мм / с	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08
\bar{I} , А	389,7	334,1	305,8	352,9	344,2
СКО (\bar{I}), А	14,4	11,8	12,0	13,3	11,44

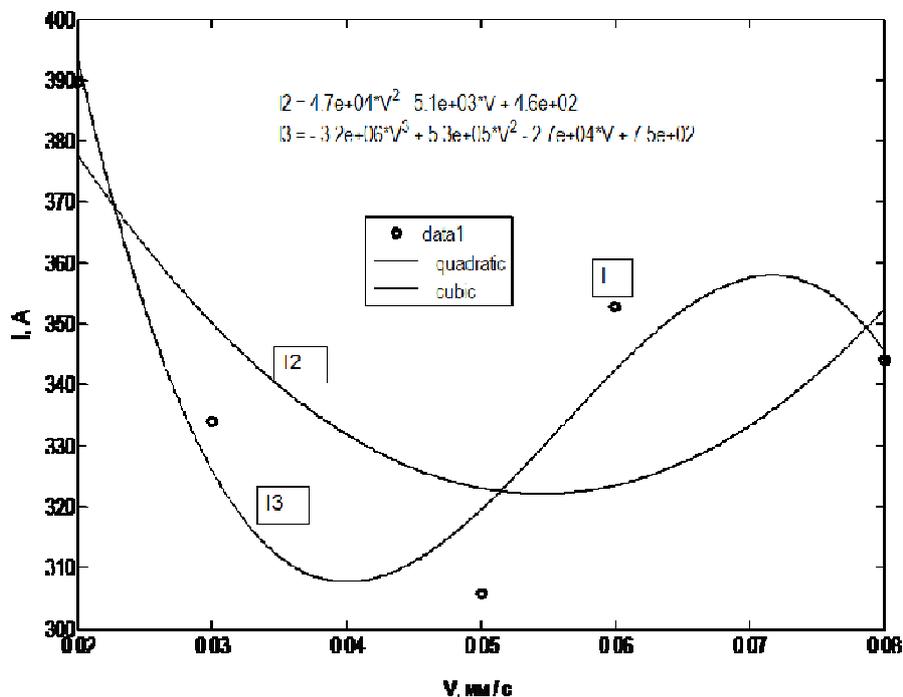
По данным таблицы были построены аппроксимации зависимости \bar{I} от V полиномами второй и третьей степени (рисунок 3):

$$\bar{I}_2 = p_1 V^2 + p_2 V + p_3, \quad p_1 = 4,666 \cdot 10^4, \quad \bar{I}_3 = p_1 V^3 + p_2 V^2 + p_3 V + p_4, \quad p_1 = -3,173 \cdot 10^6,$$

$$p_2 = -5,084 \cdot 10^3, \quad p_2 = 5,312 \cdot 10^5,$$

$$p_3 = 460,58; \quad p_3 = -2,727 \cdot 10^4,$$

$$p_4 = 751,33.$$



\bar{I}_2 – полином второй степени, \bar{I}_3 – полином третьей степени

Рисунок 3 – Зависимость \bar{I} от V .

Надо отметить явное наличие минимума зависимости $\bar{I}(V)$ при любой нелинейной аппроксимации и приемлемое значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,75$ для кубической модели.

Был также проведён спектральный анализ записанных сигналов. Для устранения случайных помех («белого шума») был применён фильтр. Так как частота тока в трансформаторе равна 50 Гц, выбран низкочастотный эллиптический фильтр $[b,a] = \text{ellip}(n,R_p,R_s,W_p)$, обсуждённый в [4]; n – длина фильтруемого сигнала, R_p – максимально допустимое ослабление сигнала в полосе пропускания в dB, R_s – минимально допустимое снижение сигнала в полосе задерживания в dB, W_p – нормированная полоса пропускания фильтра, $0 < W_p < 1$. На рисунке 4 показана характеристика эллиптического фильтра.

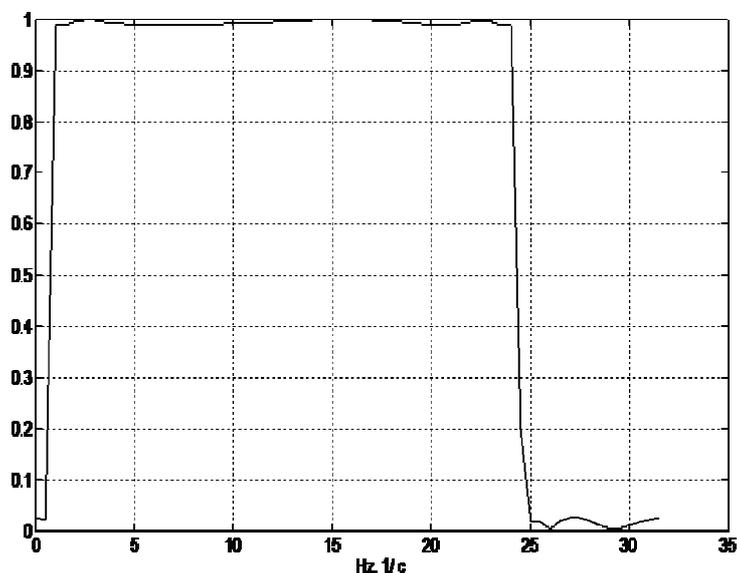


Рисунок 4 – Характеристика эллиптического фильтра

Спектр дискретных отфильтрованных сигналов получен применением быстрого преобразования Фурье (БПФ) [5], использована команда `>> [H,w] = freqz(b ,a, F_s)` системы MATLAB, $H(w)$ – спектр сигнала, $|H(w)|$ – амплитудно-частотная характеристика сигнала.

Для каждого из значений скорости V сближения станин получены спектры отфильтрованных сигналов, на рисунках 4 – 6 показаны амплитудно-частотные характеристики для трёх из значений: 0,03; 0,05; 0,08 мм/с. Фильтр убрал случайные всплески с частотами больше 3 и меньше 20 Гц. Выявились три пика амплитуд тока с частотами (4 – 7) Гц, (8 – 9) Гц, (11 – 12) Гц.

Обсуждение и выводы. В настоящее время существуют несколько вариантов технологий и соответствующего оборудования сварки рельсов [6-8]. Сварочные машины имеют определенные методы управления процессом оплавления, учитывающие не все особенности данного процесса.

Как следует из прилагаемых инструкций по эксплуатации подобных машин, рекомендации по выбору токового режима выработаны опытным путем и не учитывают особенности функционирования машины как самостоятельной электрической системы со своими собственными частотами, своим влиянием на процессы, протекающие в искровом промежутке. В нашем исследовании регистрировались токи, задаваемые обслуживающим персоналом как оптимальные и назначаемые в соответствии с линейной зависимостью от скорости сближения. Обнаруженная выраженная нелинейность этой зависимости позволяет уточнить рекомендации для управления процессом, что в свою очередь позволит уменьшить потребление мощности, а также повысить качество сварного соединения. Далее, спектр тока имеет низкочастотные составляющие, причины существования которых неясны. Возможно, дальнейшие исследования смогут объяснить их и устранить из токового наполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление процессами и оборудованием при сварке: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений / Э.А. Гладков. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
2. 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.
3. Васильев А.Н. MATLAB. Практический подход: монография / А.Н. Васильев // СПб.: Наука и техника, 2012. – 448 с.
4. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель: монография / D/G/ Дьяконов // М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
5. Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов: учебное пособие / А.И. Солонина, Д.А. Улахович и [др.] // СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 768 с.
6. Гуляев А.И. Технология и оборудование контактной сварки: монография / А.И. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
7. Кучук-Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением: сборник / Отв. ред. В.К. Лебедев. – Киев: Наук. думка, 1992. – 236 с.
8. Кучук-Яценко С.И., Дидковский А.В., Швец В.И. Технология и оборудование для контактной сварки высокопрочных рельсов / С.И. Кучук-Яценко, А.В. Дидковский, В.И. Швец // Автомат. сварка. – 2008. – № 11. – С. 129 – 138.

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

Сборник научных трудов

Компьютерный набор Темлянцев 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