

СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ. ДВУХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, П. М. РУДЕНКО, В. С. ГАВРИШ, А. В. ДИДКОВСКИЙ, Е. А. АНТИПИН

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрен современный подход к созданию системы контроля и управления процессом контактной стыковой сварки рельсов, основанный на статистическом анализе совокупности данных, характеризующих этот процесс. Такой анализ позволяет обнаружить в полученных данных ряд ранее неизвестных и полезных интерпретаций знаний («обнаружение знаний в базах данных», англ. knowledge discovery in databases), необходимых для принятия решений по управлению процессом. Проведен анализ причин, которые могут приводить к отклонениям в ходе технологического процесса и, как следствие, к нарушению качества сварных стыков. Для выявления этих возмущений предложена двухуровневая система контроля и управления. На нижнем уровне в системе прямого цифрового управления используется традиционный контроль качества сварных соединений для «мгновенной» реакции на возникновения брака и предупреждения его дальнейшего распространения. На верхнем уровне (в диагностическом центре «Укрзалізниці») осуществляется статистическая обработка протоколов сварки рельсов для выявления возмущений, которые сложно проконтролировать прямыми измерениями. Разработанные алгоритмы прошли экспериментальную проверку и могут быть рекомендованы для дальнейшего внедрения в производство. Библиогр. 5, табл. 1, рис. 4.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка оплавлением, двухуровневая система контроля и управления, контроль параметров процесса, статистическое управление, техническое состояние оборудования, допусковый контроль

Современные системы контроля и управления процессом контактной стыковой сварки рельсов, установленные на всех сварочных машинах конструкции ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ нового поколения, позволяют измерить и рассчитать основные параметры процесса, по которым с определенной степенью достоверности можно судить о качестве сварного стыка. Эти данные в виде протокола сварки стыка фактически являются его паспортом. Полученные протоколы хранятся в течение всего времени эксплуатации сварных соединений в железнодорожном пути и образуют значительные массивы информации, которые, кроме свидетельства о приемке изделия для эксплуатации, можно использовать для выявления возмущений, которые влияют на процесс сварки, но не поддаются методам прямого измерения. Подобные способы обработки информации, т. н. Data Mining — добыча данных, интеллектуальный анализ данных, глубинный анализ данных, применяются для обнаружения в данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретаций знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности.

Использование известных методов статистической обработки информации по стыкам, собранным за определенные отрезки времени на одних и тех же машинах, совокупности машин одного рельсосварочного предприятия (РСП) или отрасли

в целом, помогают оптимизировать условия эксплуатации сварочных машин и управление производством сварных рельсов в целом.

С этой целью в ИЭС была разработана двухуровневая система. На нижнем уровне в системе прямого цифрового управления используется традиционный контроль качества сварных соединений для «мгновенной» реакции в режиме реального времени на возникновение брака для предупреждения его дальнейшего распространения.

Далее информация о сварных стыках передается от сварочных машин рельсосварочных предприятий отрасли на верхний уровень — диагностический центр. В диагностическом центре осуществляется статистическая обработка протоколов сварки рельсов для выявления возмущений, которые сложно проконтролировать прямыми измерениями. Например, неудовлетворительное выполнение вспомогательных операций по подготовке рельсов перед сваркой, отклонение физико-химических свойств металла рельсов, неудовлетворительное соблюдение технологических операций обслуживающим персоналом, неудовлетворительные условия производства (рис. 1).

С учетом возможностей существующих локальных систем управления по контролю и регулированию процесса разработанная система, кроме прямого цифрового управления сварочным процессом, выполняет следующие функции:

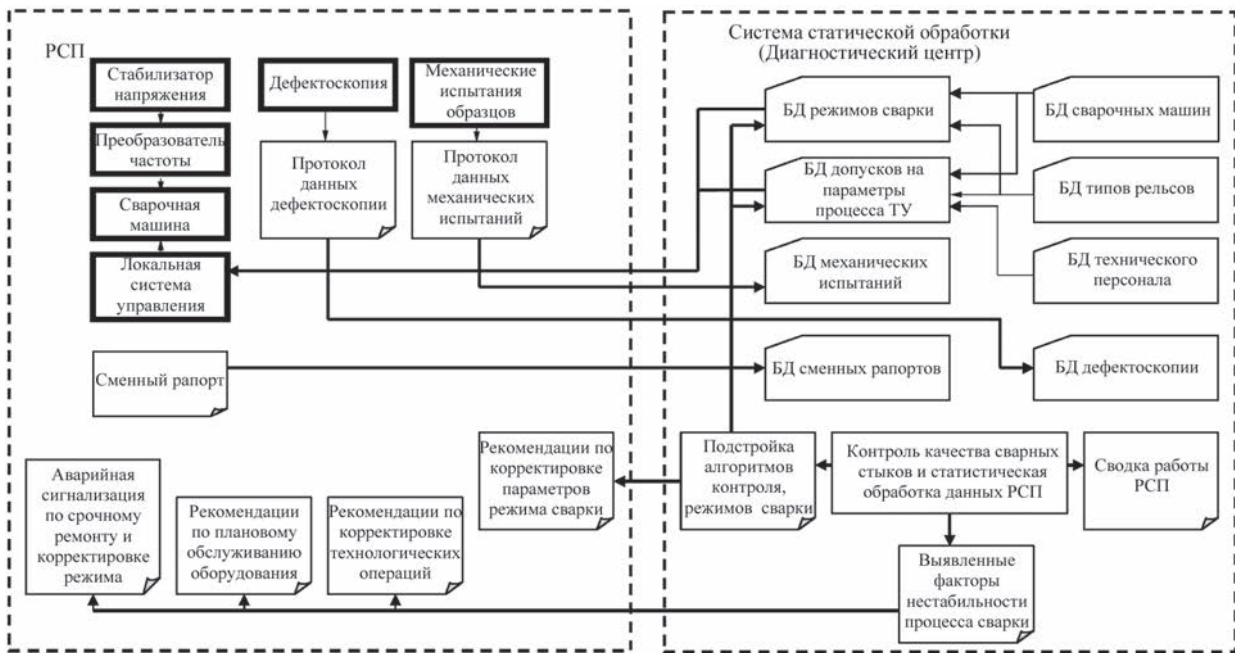


Рис. 1. Структурная схема двухуровневой системы управления

- прогнозирование качества сварного стыка по параметрам процесса, используя более совершенные алгоритмы с возможностью привлечения к прогнозированию в особых случаях квалифицированных специалистов;
- контроль технического состояния сварочного оборудования, выработка рекомендаций и планирование его технического обслуживания;
- выявление и распознавание аварийных ситуаций для немедленного вмешательства в технологический процесс;
- выявление систематических отклонений и трендов параметров процесса, которые могут приводить к ухудшению показателей качества сварных соединений, разработка рекомендаций по корректировке параметров режима сварки.

Для контактной сварки рельсов на стационарных и передвижных сварочных машинах можно выделить следующие причины, которые могут приводить к отклонениям в ходе технологического процесса и, как следствие, к нарушению качества сварных стыков [1–3]:

1. Неудовлетворительное выполнение вспомогательных операций по подготовке рельсов перед сваркой: подготовка торцов, зачистка поверхности рельсов в местах токоподвода и обработка стыков после сварки — механическая обработка поверхности рельсов при удалении графа.
2. Ухудшение технического состояния сварочного оборудования, например, повышение сопротивления сварочного контура машины.
3. Дефекты в основном металле рельсовой стали.
4. Неудовлетворительное соблюдение технологических операций сварщиком (плохая зачистка и центровка рельсов перед сваркой).

5. Неудовлетворительные условия производства: недопустимые изменения температуры окружающей среды и напряжения сети.

6. Неблагоприятное сочетание параметров процесса даже когда эти параметры находятся в допусках, например, снижение напряжения сети и увеличение сопротивления сварочного контура машины.

Для выявления описанных возмущений разработан алгоритм статистической обработки данных параметров процесса, при котором массивы протоколов сварки стыков обрабатываются с их разделением и группированием по соответствующим признакам (табл.).

В процессе сварки в режиме реального времени формируется следующая информация (рис. 2):

1. При сварке стыков по измеренным значениям параметров сварочного процесса $x_1 \dots x_{12}$ с помощью алгоритма контроля на основе «нечеткой» логики [4] рассчитывается показатель качества сварного соединения — вероятность соответствия его требованиям ТУ. Полученные данные формируются в массивы по номеру машины, фамилии сварщика, мастера, дефектоскописта и бригады по выполнению вспомогательных операций (подготовке рельсов до сварки и обработке стыков после сварки), по корректировке режима сварки для смещения распределения случайных значений данных измерений в центр интервала допусков.

2. По данным ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) проверяется наличие трещин, непроваров, матовых пятен и т.п. в каждом сварном стыке, эти данные заносятся в базы данных дефектоскопии. Визуально также проверяется качество механической обработки сварного стыка после удаления

Разделение протоколов сварки стыков для выявления различных возмущений, нарушающих технологический процесс

Причина возникновения нарушения технологического процесса сварки рельсов	Параметры идентификация	Объем выборки	Параметр разделения массивов	Параметр воздействия
Вспомогательные операции по подготовке рельсов перед сваркой и обработке стыков после сварки	$Z_{кз}$, визуальные данные механической обработки стыков после сварки	1...2 смены	ФИО мастера смены + РСП	Методика и оборудование
Техническое состояние сварочного оборудования	$T_c, U_b, U_n, V_{оп}, V_{ф}, V_{ос}, S_{о}, S_{ос}, Z_{кз}$	1/3...1 месяц	№ сварочной машины	Техническое обслуживание, ремонт
Физико-химические свойства металла рельсов	$L_{пр}, F_p$, данные дефектоскопии	Сразу при обнаружении или 1 смена	№ партии, марка рельсов, № машины	Корректировка режима
Технологические операции сварщика	T_c, T между сваркой и оплавлением косины, $Z_{кз}$, проскальзывание	Сразу при обнаружении или 1 смена	ФИО сварщика	Методика (производственные инструкции)
Контроль процесса сварки образцов и ультразвуковой дефектоскопии (УЗД)	$L_{пр}, F_p$, данные УД	1 смена	ФИО сварщика, дефектоскописта	Методика и оборудование
Условия производства	$U_b, U_n, V_{оп}, V_{ф}, V_{ос}$	1...2 месяца	РСП	Стабилизация U_c или T масла
Неблагоприятное сочетание параметров процесса	Нечеткий алгоритм управления и контроля	Сразу при обнаружении или 1 смена	№ плети	Корректировка режима сварки

грата. Информация о наличии дефектов немедленно поступает сварщику и сменному мастеру. Дефектный стык вырезается. Перечисленные функции выполняются вне системы контроля, ввод данных дефектоскопии выполняется вручную.

3. В начале, середине и конце смены проводится сварка образцов рельсов и их механические испытания. Данные испытаний: стрела прогиба $L_{пр}$ и разрушающее усилие F_p сравниваются с заданными значениями. Если полученные значения меньше заданных, проводится сварка и испытание дополнительных образцов для выявления достоверности недопустимого отклонения. При подтверждении недопустимого отклонения процесса осуществляется корректировка режима сварки. Полученные данные также используются для подстройки модели контроля качества сварки. Перечисленные функции выполняются вне системы контроля, ввод результатов механических испытаний образцов осуществляется вручную.

Вне времени проведения технологического процесса формируется следующая информация:

4. Для контроля технического состояния сварочной машины данные по плетям одной и той же марки рельсов, сваренным на одной и той же машине, объединяются в протокол технического состояния сварочной машины. Время реакции, а соответственно и время усреднения могут быть значительными — от одной до нескольких смен. Очевидно, что в случае аварийной ситуации информация о ремонте поступает немедленно.

5. Для контроля условий производства объединены статистические оценки сварки на одних

и тех же режимах и на одном и том же типе машин каждого РСП. По напряжению U_b, U_n определяется стабильность электрической сети, а по скоростям $V_{оп}, V_{ф}, V_{ос}$ — стабильность работы гидропривода, которая, в свою очередь, связа-

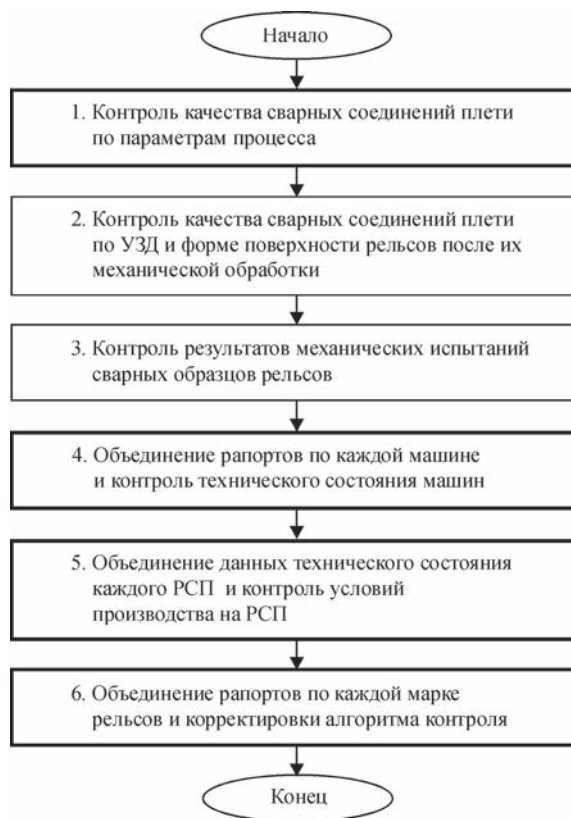


Рис. 2. Алгоритм контроля процесса сварки рельсов (выделены операции, которые автоматизированы в компьютерной системе контроля)

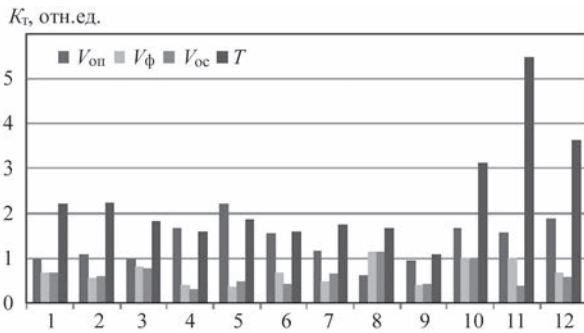


Рис. 3. Коэффициенты точности K_T параметров $V_{оп}$, $V_{ф}$, $V_{ос}$, T , сгруппированные по машинам (1–12 — номера машин)

на с температурой окружающей среды и ее воздействием на свойства жидкости гидросистемы. Сравнение этих оценок на разных РСП может послужить основанием для принятия мер по совершенствованию условий производства.

6. Для уточнения допусков на контроль процесса статистические данные по всем РСП объединяются для каждой марки рельсов и соответствующему режиму сварки.

При статистическом анализе распределение случайных значений параметров процесса сварки оценивали по их среднему значению (с. з.) и среднему квадратическому отклонению (с. к. о.). Для удобства сравнения различных параметров между собой далее рассматривали эти величины в относительных единицах в виде т. н. коэффициентов точности K_T и настроенности K_H [5]:

$$K_T = 6S/\delta; K_H = (X_c - X_0)/\delta,$$

где S , X_c — среднее квадратическое отклонение и среднее значение распределения значений параметра процесса сварки; δ — поле допуска параметра; X_0 — середина поля допуска или заданное значение параметра.

Для анализа отклонений необходимо учитывать, что некоторые контролируемые параметры (например, $S_{оп}$, U_1 , U_2 , U_3 , $L_{ос}$, P_o , $T_{ос1}$) задаются прямым способом в системе управления и ошибки в их воспроизведении связаны с точностью работы оборудования и, в частности, системы управления.

В то же время другие параметры $V_{оп}$, T_c , $V_{ф}$, $V_{ос}$ задаются косвенным путем. Погрешности воспроизведения этих параметров связаны как с состоянием сварочного оборудования, так и с ходом технологического процесса.

В качестве примера работы системы рассмотрим данные по коэффициенту точности K_T на 12 сварочных машинах 4-х РСП отрасли при количестве сваренных стыков около 30 тысяч.

По косвенно задаваемым параметрам (рис. 3) видно, что 3 машины (10, 11, 12) имеют резкое отличие в данных по времени сварки. Эти маши-

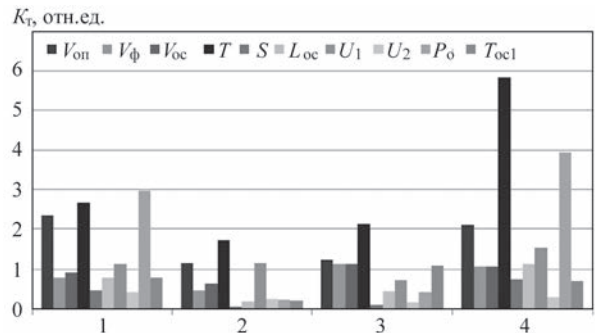


Рис. 4. Коэффициенты точности параметров K_T , сгруппированные по РСП (1–4 — номера РСП)

ны принадлежат одному РСП и естественно было предположить какое-то общее отклонение в процессе, характерное для этого РСП. Дополнительный анализ непосредственно на предприятии выявил отличия в технологии подготовки торцов рельсов перед сваркой по сравнению с другими РСП.

Данные по коэффициенту K_T для параметров, сгруппированным по РСП, выявили, что гидронасосные станции на разных РСП (параметр P_o) по техническому состоянию сильно отличаются и требуют дополнительной проверки (рис. 4).

Очевидно, что кроме технических вопросов описанный алгоритм затрагивает организационные проблемы всего производства сварных путей и должен быть уточнен не только по экспериментальной эксплуатации системы управления, а в первую очередь согласован с руководством службы путевого хозяйства.

Вывод

Разработана двухуровневая система управления и выполнена статистическая обработка результатов допускового контроля качества стыков рельсов, сваренных в течение последних лет на предприятиях «Укрзалізниці». Полученные результаты выявили новые возможности для улучшения стабильности качества сварных соединений.

1. Кучук-Яценко С. И. Влияние наследственности структуры низколегированных и углеродистых сталей на свариваемость в твердой фазе. Т. 1. / С. И. Кучук-Яценко / Изд-во Академперіодика, 2008. – С. 148–165.
2. Гудков А. В. Особенности сварки современных рельсов / А. В. Гудков, А. И. Николин // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 9–13.
3. Повышение эффективности и надежности работы рельсов: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. А. Ю. Абдурашитова. – М.: Интекст, 2011. – 128 с.
4. Круглов В. В. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В. В. Круглов, М. И. Дли. – М.: Физматлит, 2002.
5. Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования): Р 50-601-20-91. – М.: ВНИИС Госстандарта России, 1991.

Поступила в редакцию 20.04.2016