

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ РЕЙОК У СТАЦІОНАРНИХ І ПОЛЬОВИХ УМОВАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТА НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ

С.І. Кучук-Яценко, П.М. Руденко, В.С. Гавриш, О.В. Дідковський, Є.В. Антіпін

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Для контактної стикової зварювання рейок із термічно зміцненої сталі проведено дослідження та розроблено режими зварювання і технічні умови на процес. Відповідно до технічних умов розроблена дворівнева система, яка дозволяє підвищити точність контролю та керування процесом зварювання. На нижньому рівні в системі прямого цифрового керування контролем якості зварних з'єднань запропоновано алгоритм на основі «нечіткої» логіки, який враховує розмитість границь припустимих відхилень, розподіл параметрів процесу всередині допуску та взаємний вплив комбінації параметрів на показник якості стику. Контроль технічного стану устаткування здійснюється за даними тестової і функціональної діагностики. Для забезпечення стабільного енерговкладання розроблено обладнання стабілізації напруги на вході зварювального трансформатора при живленні від двофазної електричної мережі та перетворювач частоти і числа фаз для живлення від трифазної мережі. На верхньому рівні в діагностичному центрі Укрзалізниці здійснюється статистична обробка протоколів зварювання рейок, які надходять із підприємств галузі, для виявлення відхилень, які складно проконтролювати прямими вимірами, наприклад, незадовільне виконання допоміжних операцій з підготовки рейок перед зварюванням, відхилення фізико-хімічних властивостей металу рейок, незадовільне дотримання технологічних операцій зварником, незадовільні умови виробництва. Розроблені алгоритми і технічні засоби автоматизації пройшли експериментальну перевірку й можуть бути рекомендовані для подальшого впровадження у виробництво. Бібліогр. 3, табл. 1, рис. 14.

Ключеві слова: контактне стикове зварювання, термічно зміцнені залізничні рейки, система керування, контроль якості, контроль технічного стану обладнання, статистичний контроль

При контактному стиковому зварюванні рейок здійснюється контроль технологічних параметрів режиму з фіксацією їх комп'ютерною системою керування для кожного стику. Контроль якості перевіряється допусковим контролем на відхилення параметрів, обумовленим у технічних умовах (ТУ). Для підвищення надійності контролю після зварювання також здійснюється ультразвукова дефектоскопія стиків і періодично проводяться механічні випробування зварених зразків рейок і видається висновок про відповідність заданого технологічного режиму необхідній якості стику. Виробництво нових рейок з термічно зміцнених сталей поставило задачу розробки нових режимів зварювання, умов їх виконання та системи контролю і керування процесом.

З урахуванням можливостей існуючих систем керування контролем та регулювання процесом була розроблена система керування (рис. 1), яка, крім прямого цифрового керування зварювальним процесом, виконує наступні функції:

- прогнозування якості звареного стику за параметрами процесу по більш досконалих алгоритмах з можливістю залучення до прогнозування в особливих випадках кваліфікованих фахівців;

- контроль технічного стану зварювального устаткування, вироблення рекомендацій і планування технічного обслуговування його;

- виявлення і розпізнавання аварійних ситуацій для негайного втручання в технологічний процес;

- виявлення систематичних відхилень і трендів параметрів процесу зварювання, які можуть приводити до погіршення показників якості зварних з'єднань, розробка рекомендацій з корегування параметрів режиму зварювання.

При дослідженні процесу контактної зварювання сучасних марок термічно зміцнених залізничних рейок, зокрема, з киснево-конвертерної сталі марки К76Ф, було розроблено режими, що забезпечують високо концентрований нагрів при зварюванні та дозоване енерговкладання [1].

Для стабілізації енерговкладання в стик, що зварюється, були розроблені комп'ютерна система керування тиристорним контактором для живлення від однофазної (двофазної) силової мережі та трифазний перетворювач частоти і числа фаз (ПЧ) [2, 3]. Точність стабілізації напруги на вході зварювального трансформатора в обох випадках порядку 3 %. Крім стабілізації напруги, ПЧ дозволяє забезпечувати рівномірне завантаження кожної

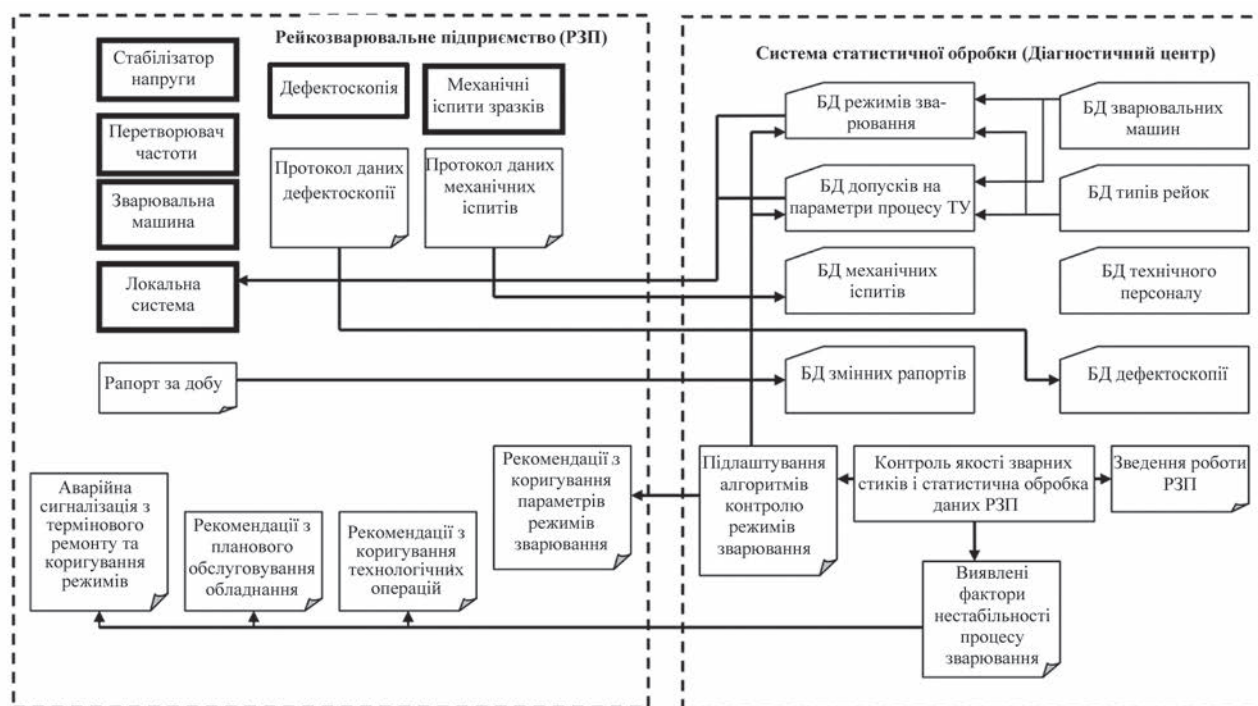


Рис. 1. Структурна схема дворівневої системи керування

фази трифазної електричної мережі. При цьому струм у кожній фазі в середньому на 20 % нижче, ніж при живленні зварювальної машини від двофазної мережі. ПЧ пройшов дослідно-промислове випробування при зварюванні рейок на РЗП-5 і показав, що якість зварених при його використанні рейок повністю відповідає ТУ. Експериментально доведено, що застосування стабілізації напруги дозволяє відповідно до розроблених режимів зварювання з необхідною точністю забезпечувати енерговкладання в зварювальний стик, що є однією з основних умов забезпечення якості стиків рейок термічно зміцнених сталей.

Разом з режимами розроблено допуски на відхилення параметрів процесу (ТУ). Для підвищення надійності існуючого допускового контролю та прогнозування оцінки показника якості зварного стику (відповідність ТУ) було розроблено алгоритм контролю на основі «нечіткої» логіки. Основні недоліки існуючого допускового контролю в тому, що не враховується:

- значимість впливу окремих параметрів і комбінації параметрів на показник якості стику;
- розподіл параметрів процесу у середині допуску;
- розмитість границь допустимих відхилень.

З урахуванням зазначених недоліків для прогнозування умови відповідності показника якості зварного стику ТУ (руйнуючого зусилля при випробуванні стику на статичне навантаження і стріли прогину) було розроблено алгоритм контролю на основі «нечіткої» логіки, тому що через складність процесу стикового зварюван-

ня розробка аналітичної, статистичної або будь-якої іншої чисельної моделі не було можливим. Для врахування розмитості границь допустимих відхилень параметрів було використано перетворення величин відхилення параметрів процесу у середині наявних згідно з ТУ допусків до деякої безрозмірної величини – ступеня відповідності параметра ТУ (α). Ці функції перетворення (фазифікації), які можуть бути різної форми, обрані у вигляді трапеції (рис. 2). У такий спосіб у середині цього допуску ($X_{\text{ср}} \pm \Delta X/6$, де $X_{\text{ср}}$ – середнє значення допуску, а ΔX – величина допуску) функція приналежності параметра ТУ дорівнює 1, а далі до границь допуску лінійно падає до нуля. На основі висновків технологів про якісний вплив параметрів на процес стикового зварювання побудовано логічні залежності, які враховують як взаємний вплив на процес, так і розташування параметрів у полі допуску (далі під терміном помилка розуміється відхилення параметра від середини допуску).

Оцінка якості зварювання здійснюється аналізом параметрів на трьох стадіях процесу: нагрів – формування температурного поля на торцях виробів, що зварюються; перехід від нагріву до осадки з підвищенням швидкості укорочення; осадка – формування з'єднання у твердій фазі. У результаті визначається ступінь істинності (або вірогідності) відповідності параметрів на цих етапах допускам ТУ й, отже, ймовірність одержання зварного стику, якість якого відповідає ТУ.

1. ЯКЩО негативна помилка $V_{\text{оп}}$, ТО велике нагрівання (перегрів) деталей.

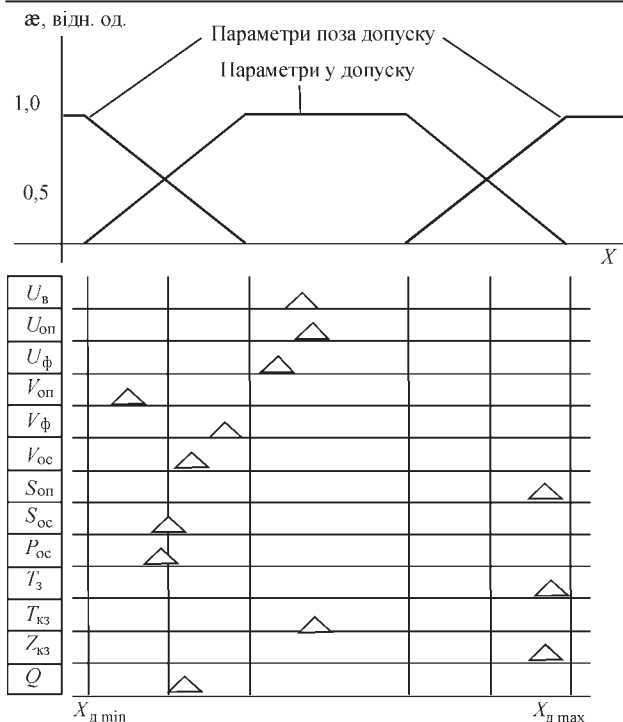


Рис. 2. Функція фазифікації параметрів процесу стикового зварювання для контролю якості зварних стиків (U_B , $U_{оп}$, $U_{ф}$ – середня напруга на вході зварювального трансформатора на першому етапі зварювання (зняття косини), другому (нагріву) та третьому (перехід від нагріву до осадки з підвищенням швидкості укорочення), відповідно; $V_{оп}$, $V_{ф}$, $V_{ос}$ – середня швидкість укорочення зварювальних рейок на другому, третьому етапах та під час осадки; $S_{оп}$, $S_{ос}$ – величина укорочення зварювальних рейок до осадки та під час осадки; $P_{ос}$ – тиск осадки; T_3 – час зварювання; $T_{кз}$ – час короткого замикання зварювального струму при переході від нагріву до осадки з підвищенням швидкості укорочення; $Z_{кз}$ – повний опір зварювальних рейок після осадки; Q – електрична енергія за час зварювання на вході зварювального трансформатора)

1а. ЯКЩО позитивна помилка Q ТА негативна помилка $S_{оп}$, ТО велике нагрівання (перегрів) деталей.

2. ЯКЩО позитивна помилка $V_{оп}$, ТО мале нагрівання (недогрів) деталей.

2а. ЯКЩО негативна помилка Q ТА позитивна помилка $S_{оп}$, ТО мале нагрівання (недогрів) деталей.

3. ЯКЩО велике нагрівання деталей АБО мале нагрівання деталей, ТО незадовільне температурне поле.

4. ЯКЩО негативна помилка $V_{ф}$ АБО помилка $U_{ф}$, ТО незадовільний поверхневий шар розплавленого металу на торцях рейок (можлива поява «матових плям» – дефекту структури металу пов'язаного з формуванням в металі легкоплавких плівок, які при кристалізації формуються з дрібних неметалевих включень) або не проварів.

5. ЯКЩО велике $T_{кз}$, ТО незадовільний поверхневий шар розплавленого металу на торцях рейок (можлива поява «матових плям») або непровар.

6. ЯКЩО позитивна помилка $S_{ос}$ ТА позитивна помилка $V_{ос}$, ТО можливе проковзування або перегрів зварювальних деталей.

7. ЯКЩО негативна помилка $S_{ос}$ ТА негативна помилка $V_{ос}$ АБО можливе проковзування або перегрів зварювальних деталей, ТО незадовільне формування з'єднання у твердій фазі.

8. ЯКЩО незадовільне температурне поле АБО незадовільний поверхневий шар розплавленого металу на торцях рейок АБО незадовільне формування з'єднання у твердій фазі, ТО вище ймовірність неякісного звареного стику.

Далі ці логічні вираження були перетворені за допомогою відомих правил до виду зручному для реалізації на ЕОМ.

Для контролю технічного стану зварювального устаткування використовується його контроль за даними тестових випробувань (тестова діагностика) і за даними точності відпрацювання параметрів режиму в процесі зварювання виробів (функціональна діагностика). Тестова діагностика включає два тести. Перший – це перевірка статичної й динамічної помилки роботи приводу подачі рухливої колони. При цьому величина статичної похибки (помилки між заданою й обмірюваною величиною для процесу, що встановився) і динамічної похибки (час установаження заданого керуючого впливу) особливо важливі для процесу стикового зварювання. Ці величини в значній мірі визначають стійкість процесу зварювання, тому що вони визначають якість роботи регулятора зварювального струму, і точність завдання величини швидкості $V_{оп}$ і $V_{ф}$, які є параметрами, закладеними в ТУ на зварювання рейок.

Для оцінки статичної й динамічної похибки відпрацювання швидкості подачі рухливої ко-

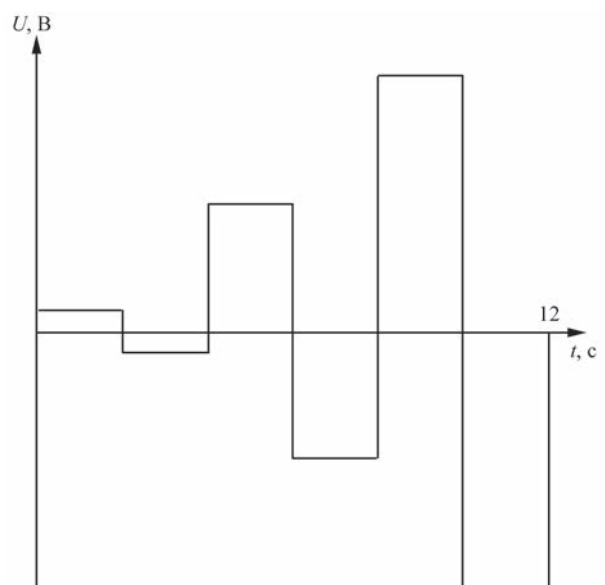


Рис. 3. Форма іспитового сигналу на вході блоку керування приводом подачі рухливої колони

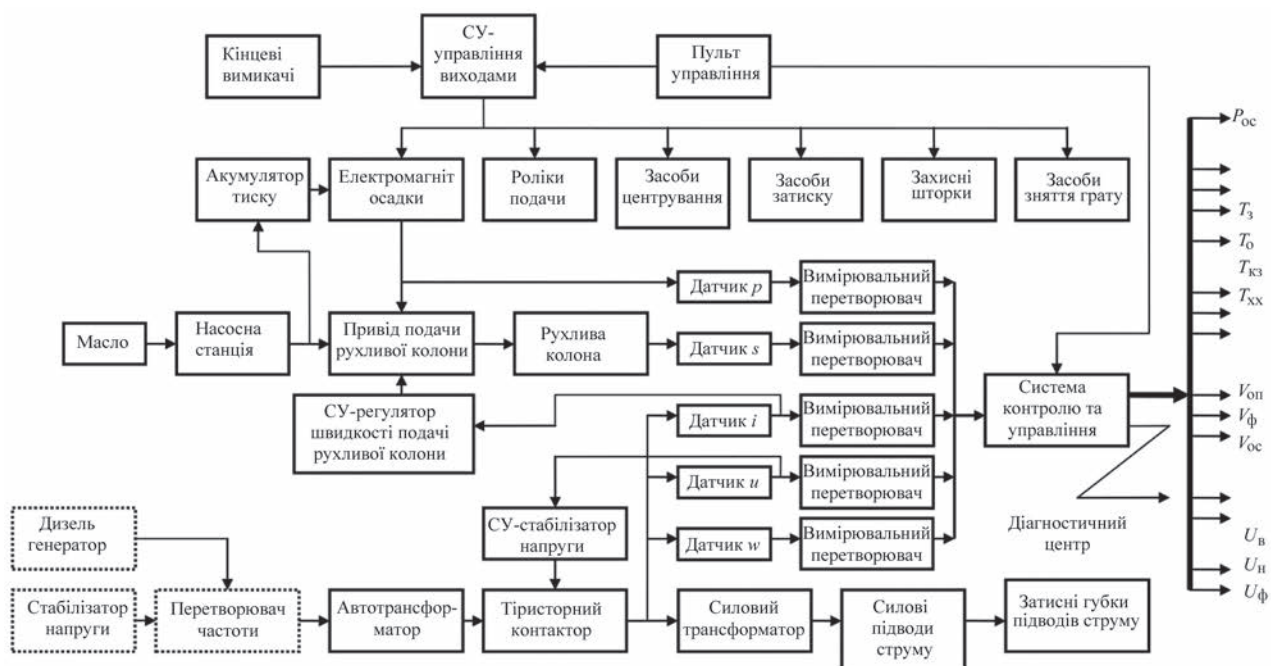


Рис. 4. Структурна схема контактної машини для зварювання оплавленням

лони в комплекті з датчиком переміщення на вхід блоку управління приводу подається сигнал напруги у вигляді сходів різної полярності (рис. 3).

Другим видом тесту є відпрацьовування заданої циклограми зварювання без включення зварювального струму (тобто без виробів, що зварюються). При цьому перевіряється точність відпрацьовування заданої напруги, величина швидкості переміщення на різних етапах процесу.

Функціональна діагностика виконується в процесі зварювання виробів. При цьому оцінюються середнє й середнє квадратичне відхилення (СКВ) параметрів режиму зварювання. Зварювальна машина уявляється у вигляді логічно зв'язаних вузлів і параметрів, на які вони можуть впливати (рис. 4).

Із цієї логічної схеми визначено логічні функції зв'язку розладнання вузлів залежно від статистично значимих відхилень середніх і СКВ параметрів процесу (рис. 5), на які ці вузли впливають. За цими даними формуються рекомендації з технічного обслуговування зварювальної машини.

Розроблено також алгоритми розрахунку передбачення змін параметрів зварювальної машини в часі (зокрема повного опору вторинного контуру) для попереджувального ремонту машини й алгоритм підстроювання залежностей, які використовуються для діагностики вузлів за даними ремонту машини.

Крім описаних причин виникнення браку – несприятлива комбінація параметрів процесу й незадовільний технічний стан зварювального устаткування – для контактного зварювання рейок на стаціонарних і пересувних зварювальних машинах можна виділити наступні причини, які можуть приводити до відхилень у ході технологічного процесу й, як наслідок, до порушення якості зварених стиків:

- незадовільне виконання допоміжних операцій по підготовці рейок перед зварюванням (косина торців і зачищення поверхні під губки) і обробці стиків після зварювання (механічна обробка поверхні рейок у місці стиків, термічна обробка стиків);

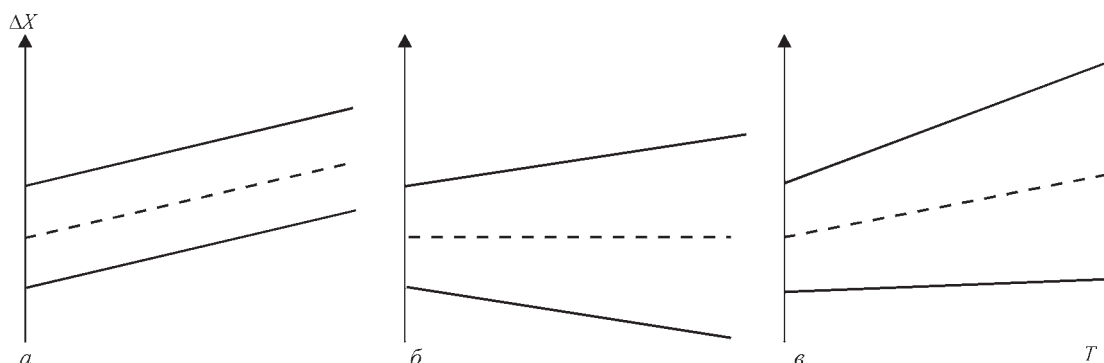


Рис. 5. Види відхилень параметрів режиму зварювання: тренд у часі середнього значення при постійному СКВ (а), тренд СКВ при постійному середньому значенні (б) та одночасний тренд середнього та СКВ (в)

- відхилення фізико-хімічних властивостей металу рейок;
- незадовільне дотримання технологічних операцій зварником (центрування рейок, оплавлення торців рейок перед зварюванням, охолодження деталей перед зварюванням);
- недостовірний контроль процесу за даними механічного руйнування зварених зразків і методу ультразвукової дефектоскопії (УЗД);
- незадовільні умови виробництва (неприпустимі зміни температури навколишнього середовища, напруги мережі).

Для виявлення описаних збурювань розроблений алгоритм статистичної обробки даних за параметрами процесу, при якому масиви протоколів зварювання стиків обробляються з їхнім поділом і групуванням за відповідними ознаками (таблиця).

У процесі зварювання в режимі реального часу (online) формується наступна інформація (рис. 6):

1. При зварюванні стиків за обмірюваними значеннями параметрів зварювального процесу $x_1 \dots x_{12}$ за допомогою алгоритму контролю розраховується показник якості зварного з'єднання – ймовірність відповідності його вимогам ТУ, а також середні значення $\bar{x}_1 \dots \bar{x}_{12}$ і СКВ $Sx_1 \dots Sx_{12}$ для кожної пліті та зварювальної машини. Ці дані формують базу даних змінних рапортів. За даними середніх значень із усередненням порядку 10...20 зварювань формуються рекомендації з коректування режиму зварювання для зсуву розподілу випадкових значень даних вимірів у центр інтервалу допусків.

2. За даними УЗД перевіряється наявність тріщин, пор і т. п. у кожному зварному стикі, ці дані заносяться в бази даних дефектоскопії. Візуально також перевіряється якість механічної обробки зварного стика після зняття ґрату. Інформація про наявність дефектів у вигляді тріщин, пор і неякісної обробки стика негайно надходить звар-

никові та змінному майстрові. Дефектний стик вирізається.

Перераховані функції виконуються поза системою контролю, введення даних дефектоскопії виконується вручну.

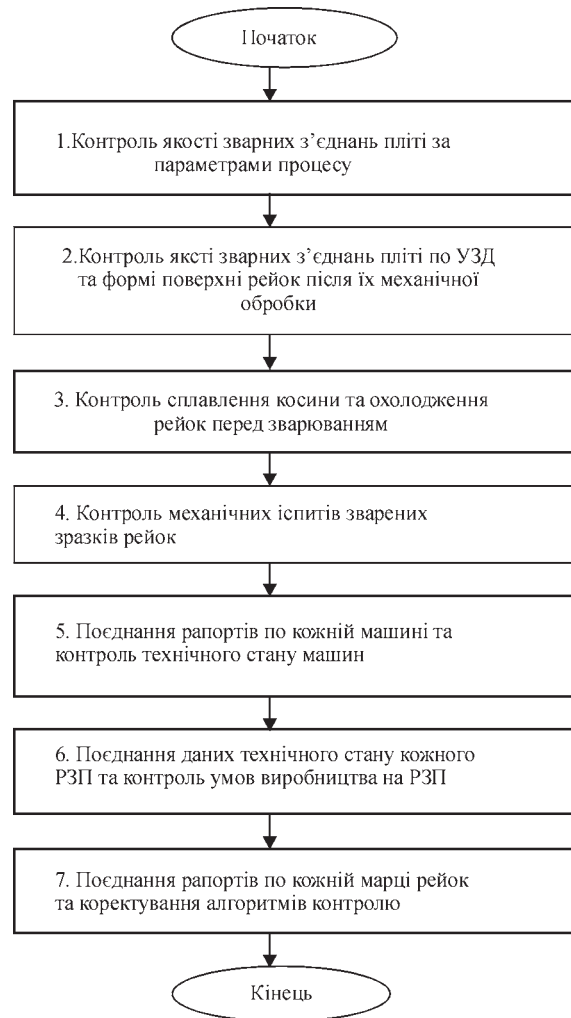


Рис. 6. Алгоритм контролю процесу зварювання рейок (пп. 1, 3, 5–7 – операції, які автоматизовані в системі контролю)

Групування алгоритмів обробки

Причина виникнення порушень технологічного процесу зварювання рейок	Параметри ідентифікації	Об'єм вибірки	Параметр поділу масивів	Параметр впливу
Підготовка рейок перед зварюванням і обробка стиків після зварювання	$T_{оп}$, косини, $Z_{кз}$, візуальні дані обробки стиків після зварювання	2...4 год	ПІБ майстрів зміни + РЗП	Методика та устаткування
Технічний стан зварювального устаткування	T_z , U_v , $U_{оп}$, $V_{оп}$, $V_{ф}$, $V_{ос}$, $S_{оп}$, $S_{ос}$, $Z_{кз}$	1 зміна	Зварювальна машина	Технічне обслуговування
Фізико-хімічні властивості металу рейок	$L_{пр}$, F_p , дані дефектоскопії	1 зміна	Партія, марка рейок	Коректування режиму
Технологічні операції зварника	T_z , T між зварюванням і оплавленням косини, $Z_{кз}$, прослізнення	Відразу при виявленні або 1 зміна	ПІБ зварника	Методика (виробничі інструкції)
Контроль процесу зварювання зразків і УЗД	$L_{пр}$, F_p , дані УЗД	1 зміна	ПІБ зварника дефектоскопіста	Методика та устаткування
Умови виробництва	U_v , $U_{оп}$, $V_{оп}$, $V_{ф}$, $V_{ос}$	День-ніч	РЗП	Стабілізація U_c або $T_{мастила}$
Несприятлива комбінація параметрів процесу	Нечіткий алгоритм контролю	Відразу при виявленні	Пліть	Коректування режиму

3. За часом після сплавлення косини й зварювання стику визначається час охолодження після сплавлення косини. Інформація про неприпустимі відхилення негайно надходить зварникові й змінному майстрові.

4. На початку, середині та наприкінці зміни проводиться зварювання зразків рейок та їх механічне випробування. Дані випробувань: стріла прогину $L_{\text{пр}}$ і руйнівне зусилля $F_{\text{р}}$ порівнюються із заданими значеннями. Якщо отримані значення менше заданих, проводиться зварювання й випробування додаткових зразків для виявлення вірогідності неприпустимого відхилення. При підтвердженні неприпустимого відхилення процесу здійснюється коректування режиму зварювання. Отримані дані також використовуються для підстроювання моделі контролю якості зварювання, а по стабільності $SL_{\text{пр}}$, $SF_{\text{р}}$ визначається зношування преса для випробувань і досконалість методики.

Перераховані функції виконуються поза системою контролю, уведення механічних випробувань зразків здійснюється вручну.

У режимі offline формується наступна інформація:

5. Для контролю технічного стану зварювальної машини дані по плітях однієї і тій же марки рейок, зварених на одній і тій же машині, об'єднуються у протокол технічного стану зварювальної машини. Час реакції, а відповідно час усереднення можуть бути значними – від однієї до декількох змін. У випадку аварійної ситуації інформація про ремонт надходить негайно.

6. Для контролю умов виробництва об'єднуються статистичні оцінки зварювання на тих самих режимах і на тому самому типі машин кожного РЗП. По напрузі $U_{\text{в}}$, $U_{\text{оп}}$ визначається стабільність електричної мережі, а по швидкостях $V_{\text{оп}}$, $V_{\text{ф}}$, $V_{\text{ос}}$ – стабільність властивостей мастила в механізмах приводу, яке у свою чергу пов'язане з температурою навколишнього середовища. Порівняння цих оцінок на різних РЗП може послужити підставою для застосування заходів щодо вдосконалення умов виробництва.

7. Для уточнення допусків на контроль процесу статистичні дані по всім РЗП поєднуються для кожної марки рейок і відповідному режиму зварювання.

Для статистичного керування технологічним процесом зварювання на РЗП використовуються алгоритми контролю та керування виробництвом на основі рекомендацій державних стандартів із статистичного керування технологічним процесом, у яких використовуються коефіцієнти точності $K_{\text{т}}$, налаштованості $K_{\text{н}}$ і стабільності $K_{\text{с}}$:

$$K_{\text{т}} = \frac{6S}{\delta} \leq 1; K_{\text{н}} = \frac{\bar{x} - x_{\delta}}{\delta} \rightarrow 0; K_{\text{с}} = \frac{S_{t1}}{S_{t2}} \rightarrow 1,$$

де δ – поле допуску на параметр; x_{δ} – середина поля допуску; S_{t1} – СКВ у фіксований момент часу t_1 ; S_{t2} – СКВ у порівнюваний фіксований момент часу t_2 .

Для аналізу відхилень необхідно враховувати, що контрольовані параметри $S_{\text{оп}}$, $U_{\text{в}}$, $U_{\text{оп}}$, $U_{\text{ф}}$, $S_{\text{ос}}$, та часу осадки зі струмом $T_{\text{осі}}$ задаються безпосередньо в системі керування. $P_{\text{ос}}$ визначається настроюванням тиску в циліндрі осадки.

Водночас параметри $V_{\text{оп}}$, T_3 , $V_{\text{ф}}$, $V_{\text{ос}}$ задаються непрямым шляхом: $V_{\text{оп}}$ та $V_{\text{ф}}$ залежать від параметрів регулятора приводу подачі рухливої колони;

$$T_3 = S_{\text{к}}/V_{\text{к}} + S_{\text{оп}}/V_{\text{оп}} + S_{\text{ф}}/V_{\text{ф}} + T_{\text{осі}},$$

де $S_{\text{к}}$, $V_{\text{к}}$ – припуск і середня швидкість на етапі зняття косини.

Швидкість осадки $V_{\text{ос}}$ залежить від заданого тиску осадки, технічного стану приводу осадки та рухливої колони і нагрівання металу рейок перед осадкою.

У цьому зв'язку оцінка виду збурювання за параметрами $V_{\text{оп}}$, T_3 , $V_{\text{ф}}$, $V_{\text{ос}}$ ускладнена.

Всього було оброблено даних по 32361 стику, виконаним протягом 2013 і 2014 рр. 36 зварниками на 6 стаціонарних машинах К-1000 та 6 підвісних машинах К-922, які входять до складу 4 РЗП: 5, 6, 13 і 39. За винятком часу $T_{\text{осі}}$, допуски для інших параметрів для машин К-1000 і К-924 збігаються.

Коефіцієнти $K_{\text{н}}$ характеризують величину завдання у відносних одиницях кожного параметра режиму за масивом згрупованих даних – зварник, машина (рис. 7, 8), РЗП (рис. 9). В ідеальному випадку, коли технічні характеристики та технічний стан зварювальних машин, умови підготовки рейок до зварювання й умови виконання самого зварювання за температури навколишнього середовища, стабільності напруги живлення мережі й т. п., а також фізико-хімічні властивості зварювальних металів однакові можна припустити, що ці коефіцієнти повинні бути однакові. Розбіжність коефіцієнтів $K_{\text{н}}$ для тих самих параметрів пов'язане з тим, що режим зварювання підбирається за даними випробування зразків для кожної машини, і, отже, відбиває відмінності в перерахованих умовах проходження процесу зварювання.

За даними $K_{\text{н}}$ для $V_{\text{ф}}$, $V_{\text{ос}}$, $S_{\text{оп}}$, $P_{\text{ос}}$, $S_{\text{ос}}$, $T_{\text{осі}}$ видно, що ці параметри мають практично однаковий зсув для всіх машин (рис. 7, 8). При цьому крім $P_{\text{ос}}$ цей зсув негативний. Позитивний зсув для $P_{\text{ос}}$ ймовірно пов'язаний з нестабільністю насосної станції та завищенням його заданого значення для недопущення

зниження тиску нижче мінімального припустимого. Якщо при таких налаштуваннях режиму якість зварних стиків відповідає ТУ, то можливе коректування припустимих відхилень параметрів для того, щоб центр розподілу їх значень перебував у середині допуску і значення K_n наблизилися до нуля.

K_n для $V_{оп}$, T_3 мають різні за знаком значення, що можна характеризувати як знаходження заданого значення в центрі допусків. Обидва ці параметра задаються непрямым шляхом і їх значення є результатом впливу різних факторів. Однак більші відхилення K_n (0,29 для $V_{оп}$ і 0,46 для T_3) свідчать про наявність значного неконтрольованого збурювання. У цьому випадку може поставати питання про нестабільність якості підготовки стиків перед зварюванням або операції з його усунення (зняття косини крайок рейок шляхом оплавлення).

Оцінки K_n об'єднані за РЗП (рис. 9) підтверджують, що практично всі параметри, крім $P_{ос}$, задані менше середнього їхнього значення в допуску. Можна припустити, що для таких параметрів як $V_{оп}$, T_3 , $S_{оп}$, $S_{ос}$, $T_{осі}$ слід переглянути ТУ.

Коефіцієнти K_t більше 1 однозначно говорять про необхідність ремонту або профілактичних ро-

біт на відповідній машині. Але таке відхилення за $V_{оп}$ і T_3 може бути пов'язане, як ми вже відзначали, з нестабільністю підготовки стиків під зварювання на всіх РЗП або інших факторів. Особливо це проявляється для машин К-922 для РЗП-39 (рис. 10, 11, машини 10, 11, 12).

Серед параметрів, що безпосередньо задаються, майже по всіх машинах є неприпустимі відхилення $P_{ос}$. Це може бути пов'язане з нестабільністю роботи насосних станцій і кліматичних умов, у яких вони працюють. Із цієї причини, щоб не допустити падіння $P_{ос}$ нижче допуску, можливо, спостерігаються завищені значення K_n за $P_{ос}$. Крім того, на РЗП-5 на машині 2, РЗП-11 на машині 7 і всіх машинах К-922 РЗП-39 є низька точність U_v (10, 11, 12), що може бути пов'язане з незадовільною якістю електричного живлення та підготовки стиків під зварювання.

На машинах, згрупованих за номерами РЗП, видно різке збільшення майже в 2 рази K_t за T_3 для РЗП-39 у порівнянні з іншими РЗП (рис. 12). Хоча параметри, які визначають T_3 – $V_{оп}$, $V_{ф}$, $S_{оп}$,

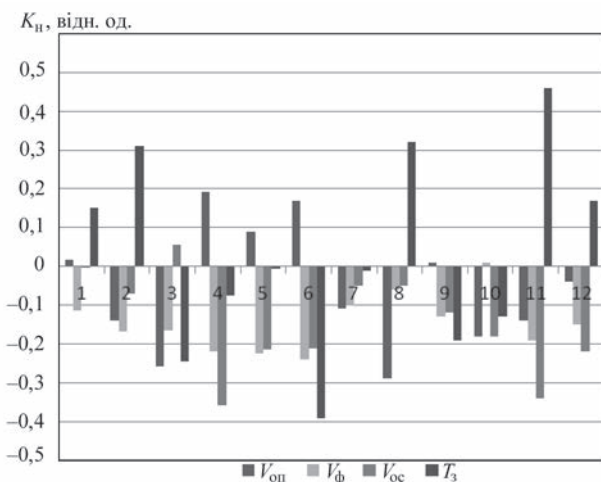


Рис. 7. Коефіцієнти налаштування K_n параметрів $V_{оп}$, $V_{ф}$, $V_{ос}$, T_3 для 12 однотипних машин РЗП

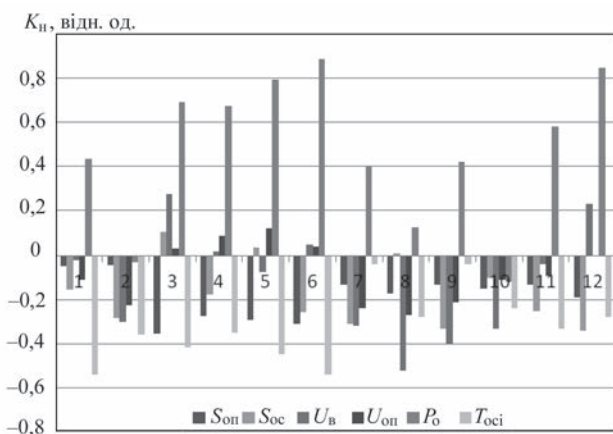


Рис. 8. Коефіцієнти налаштування K_n параметрів $S_{оп}$, U_v , $U_{оп}$, $P_{ос}$, $S_{ос}$, $T_{осі}$ (1–12 – номери машин РЗП)

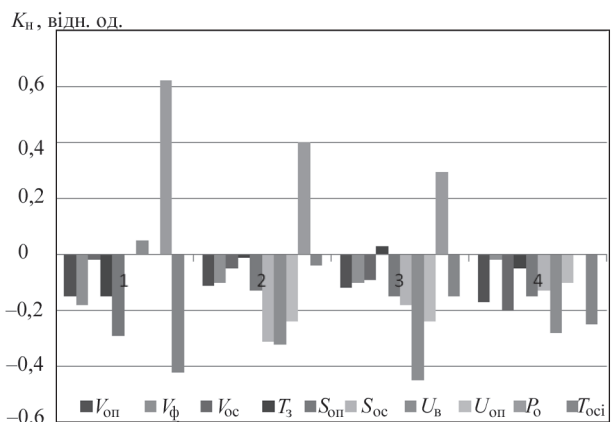


Рис. 9. Коефіцієнти налаштування параметрів K_n для всіх зварювальних машин РСП-5 (1), РСП-11 (2), РСП-13 (3), РСП-39 (4)

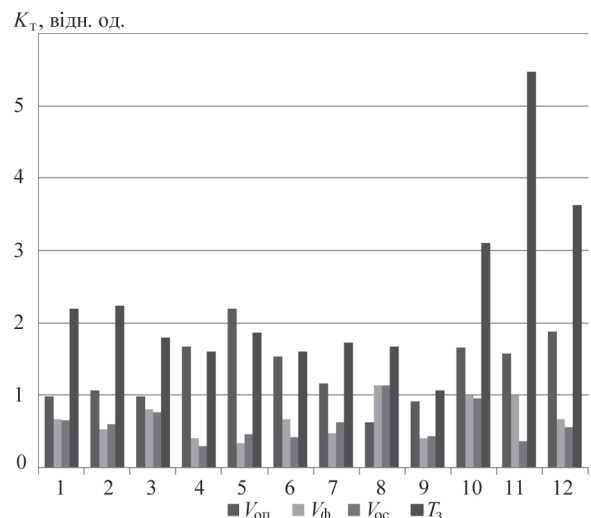


Рис. 10. Коефіцієнти точності K_t параметрів $V_{оп}$, $V_{ф}$, $V_{ос}$, T_3 (1–12 – номери машин РЗП)

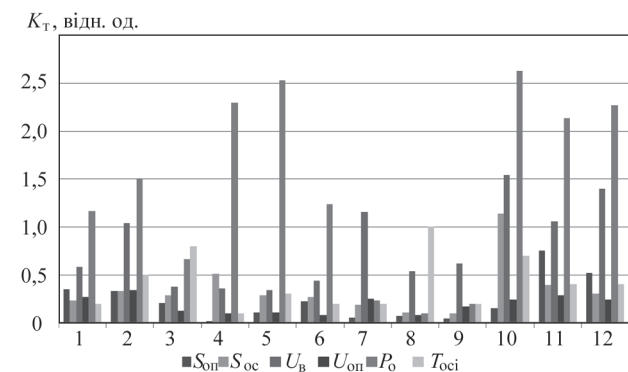


Рис. 11. Коэффициенты точности K_T параметров $S_{оп}$, U_B , $U_{оп}$, $P_{ос}$, $S_{ос}$, $T_{осі}$ (1–12 – номера машин РЗП)

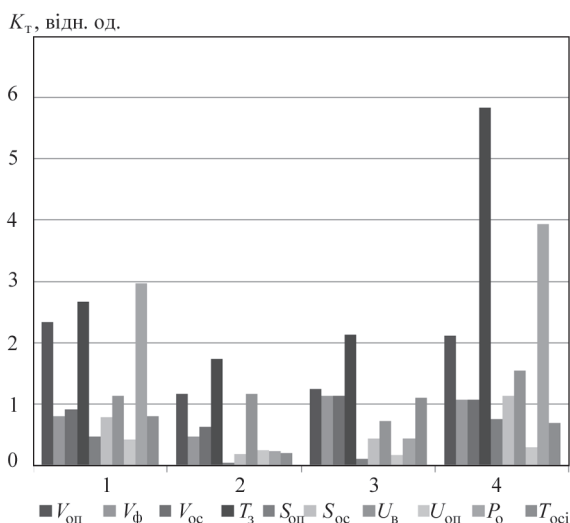


Рис. 12. Коэффициенты точности параметров K_T для всех сварочных машин РЗП-5 (1), РЗП-11 (2), РЗП-13 (3), РЗП-39 (4) за значениями K_T практически мало различаются для всех 4 РЗП. Можно припустить, истотна відмінність якості підготовки стиків під зварювання в гіршу сторону на РЗП-39. Порівняння точності за іншими параметрами показує, що крім $P_{ос}$, інші параметри мають малу розбіжність K_T . У порівнянні із РЗП-6 і РЗП-11, K_T для $P_{ос}$ РЗП-5 і РЗП-39 різко відрізняється, що ще раз підтверджує, що насосні станції на цих РЗП по технічному стану сильно відрізняються.

У висновку відзначимо дані за кількістю виходів параметрів з допусків по кожній зварювальній машині. За параметрами $S_{оп}$, $U_{оп}$, $T_{кз}$, $T_{осі}$ виходів з допусків не спостерігали. Незначне число виходів з допуску спостерігали за параметрами $S_{ос}$ і $V_{ос}$ для машин РЗП-39. Причина можлива в завданні параметрів режиму або помилок роботи системи керування. За параметрами контролю, які задаються непрямым шляхом, як і слід було сподіватися з попереднього аналізу, найбільше число виходів із допусків $T_3 - 10...40\%$, далі $V_{оп} - 5...12\%$ і найменше $V_{ф} -$ до 2% (рис. 13). Серед параметрів, які задаються прямим способом, очевидна першість за $P_{ос}$ ($35...100\%$) і U_B ($10...40\%$) (рис. 14).

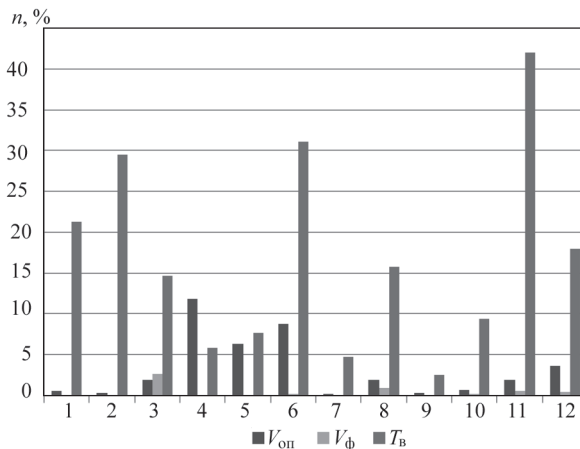


Рис. 13. Число виходів з допусків n параметров $V_{оп}$, $V_{ф}$ і T_3 (1–12 – номера машин РЗП)

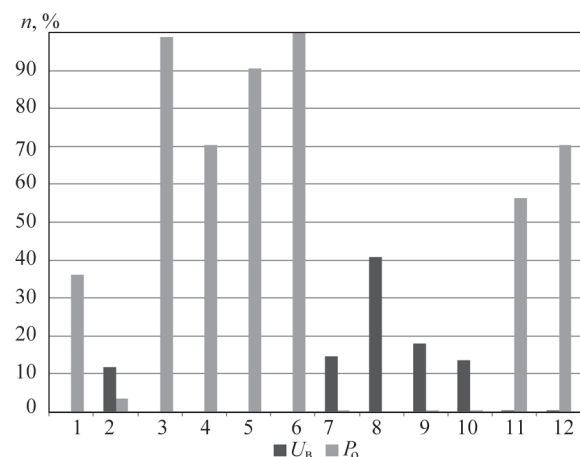


Рис. 14. Число виходів з допусків n параметров $P_{ос}$ і U_B (1–12 – номера машин РЗП)

Крім наведеного аналізу, у якості підсумового документа про роботу РЗП формується зведення за продуктивністю, показниками якості, даними по обслуговуванню машин. Очевидно, що крім технічних питань, описаний алгоритм торкається організаційних проблем усього виробництва залізничних шляхів і повинен бути уточнений не тільки за експериментальної експлуатації системи керування, а в першу чергу, погоджений з керівництвом служби шляхового господарства Укрзалізниці.

Висновки

1. Проведено аналіз існуючих систем контролю та управління процесом контактного стикового зварювання з урахуванням сучасних марок рейкових сталей, скориговано технічні умови на процес зварювання цих рейок. Розроблено ТЗ на дворівневу систему контролю та управління процесом, яка дозволить покращити якість зварних з'єднань за рахунок поліпшення умов зварювання, підвищення достовірності контролю якості зварного з'єднання в реальному часі, контролю технічного стану зварювального обладнання та оптимізації технологічного процесу в наслідок статистичного управління.

2. Запропоновано алгоритм контролю якості зварювання на основі методу «нечіткої» логіки, який дозволяє робити висновок з певним ступенем вірогідності про якість зварювання за технологічними параметрами та логічними правилами, які складені за результатами досліджень особливостей процесу стикового зварювання оплавленням. Цей алгоритм враховує ймовірності появи неякісного стику при знаходженні параметрів процесу на периферії області дозволених значень, а також підсиленні впливу на процес комбінацій відхилень деяких параметрів.

3. Розроблено алгоритми тестового та функціонального контролю технічного стану зварювального устаткування, що забезпечують його працездатність, своєчасне виявлення несправностей, а також попереджувальний і аварійний ремонт.

4. Для забезпечення необхідного внеску електричної енергії в процес зварювання стику розроблено пристрої стабілізації напруги живлення зварювального трансформатора на різних етапах процесу. Ці пристрої можна використовувати для існуючих зварювальних машин для живлення як від двофазної, так і трифазної мережі, що розширює область застосування машин з урахуванням сучасних стандартів на використання електричної енергії.

5. Розроблений алгоритм статистичного контролю процесу за даними рапортів про зварювання на кожній машині РЗП країни, за допомогою якого

можливо виявити систематичні порушення процесу як на стадії зварювання, так і на стадіях підготовки рейок для зварювання та обробки зварних стиків. Стає можливим виявити наявність відхилень у виконанні існуючої технології та різного характеру збурень, характерних для окремих зварників, машин, РЗП та оптимізації процесу зварювання для рейок кожної марки за даними рапортів, які отримано на всіх РЗП.

6. Розроблена система та її елементи пройшли експериментальну перевірку на РЗП-5. Алгоритми статистичного контролю перевірено за даними діагностичного центру Укрзалізниці.

Список літератури

1. Кучук-Яценко С.И., Дидковский А.В., Швеце В.И. и др. (2016) Контактная стыковая сварка высокопрочных рельсов современного производства. *Автоматическая сварка*, **5-6**, 7–16.
2. Кучук-Яценко С.И., Руденко П.М., Гавриш В.С. и др. (2015) Преобразователь частоты и числа фаз для контактной стыковой сварки рельсов. *Там же*, **7**, 41–43.
3. Руденко П.М., Гавриш В.С. (2013) Тиристорный преобразователь с непосредственной связью для питания контактных машин. *Там же*, **8**, 55–58.

References

1. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Didkovsky, A.V., Shvets, V.I. et al. (2016) Flash-butt welding of high-strength rails of nowadays production. *The Paton Welding J.*, **5-6**, 4-12.
2. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Rudenko, P.M., Gavrish, V.S. et al. (2015) Converter of frequency and number of phases for flash-butt welding of rails. *Ibid.*, **7**, 38-40.
3. Rudenko, P.M., Gavrish, V.S. (2013) Thyristor direct converters for supply of resistance welding machines. *Ibid.*, **8**, 54-56.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ОПЛАВЛЕНИЕМ РЕЛЬСОВ В СТАЦИОНАРНЫХ И ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА И НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

С.И. Кучук-Яценко, П.М. Руденко, В.С. Гавриш, А.В. Дидковский, Е.В. Антипин

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Для контактной стыковой сварки рельсов из термически упрочненной стали проведены исследования и разработаны режимы сварки и технические условия на процесс. Согласно техническим условиям разработана двухуровневая система, которая позволяет повысить точность контроля и управления процессом сварки. На нижнем уровне в системе прямого цифрового управления контролем качества сварных соединений предложен алгоритм на основе «нечеткой» логики, учитывающий размытость границ допустимых отклонений, распределение параметров процесса внутри допуска и взаимное влияние комбинации параметров на показатель качества стыка. Контроль технического состояния оборудования осуществляется по данным тестовой и функциональной диагностики. Для обеспечения стабильного энергопотребления разработано оборудование стабилизации напряжения на входе сварочного трансформатора при питании от двухфазной электрической сети и преобразователь частоты и числа фаз для питания от трехфазной сети. На верхнем уровне в диагностическом центре Укрзалізниці осуществляется статистическая обработка протоколов сварки рельсов, которые поступают из предприятий отрасли, для выявления отклонений, которые сложно проконтролировать прямыми измерениями, например, неудовлетворительное выполнение вспомогательных операций по подготовке рельсов перед сваркой, отклонения физико-химических свойств металла рельсов, неудовлетворительное соблюдение технологических операций сварщиком, неудовлетворительные условия производства. Разработанные алгоритмы и технические средства автоматизации прошли экспериментальную проверку и могут быть рекомендованы для дальнейшего внедрения в производство. Библиогр. 3, табл. 1, рис. 14.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, термически упрочненные железнодорожные рельсы, система управления, контроль качества, контроль технического состояния оборудования, статистический контроль

SYSTEM OF CONTROLLING THE PROCESS OF FLASH-BUTT WELDING OF RAILS UNDER STATIONARY AND FIELD CONDITIONS TO EXTEND THE SERVICE LIFE AND RELIABILITY OF RAILWAY TRACKS

S.I. Kuchuk-Yatsenko, P.M. Rudenko, V.S. Gavrish, O.V. Didkovskiy, E.V. Antipin

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Investigations were performed and welding modes and process specification were developed for flash-butt welding of rails from thermostrengthened steel. In keeping with the specification, a two-level system was developed, which allows increasing the accuracy of monitoring and control of the welding process. At the lower level in the system of direct digital monitoring of welded joint quality an algorithm based on «fuzzy» logic was proposed, which allows for blurred boundaries of admissible deviations, distribution of process parameters within the tolerance and mutual influence of parameter combination on butt joint quality characteristic. Technical condition of the equipment is monitored by the data of test and functional diagnostics. To ensure stable energy input, equipment for voltage stabilization at welding transformer input at power supply from two-phase mains and frequency and phase number converter at power supply from three-phase mains were developed. At the upper level, Ukrzaliznitsya Diagnostic Center performs statistical processing of rail welding protocols coming from the industry enterprises, in order to detect deviations, which are difficult to control by direct measurement, for instance, poor performance of additional operations on rail preparation for welding, deviations of physico-chemical properties of rail metal, unsatisfactory performance of technological operations by the welder and unsatisfactory production conditions. Algorithms and technical means were developed, which have passed experimental trials and can be recommended for further introduction into production. 3 Ref., 1 Tabl., 14 Fig.

Keywords: flash-butt welding, thermostrengthened rails, control system, quality control, monitoring technical condition of equipment, statistical control

Надійшла до редакції
20.02.2019



Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики



Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона
Національної академії наук України



Міжнародний виставковий центр



ICNDT
The World Organisation for NDT

Міжнародний комітет
з неруйнівного контролю



EFNDT
European Federation for
Non-Destructive Testing

Європейська федерація
з неруйнівного контролю

9-а Національна науково-технічна конференція і виставка Неруйнівний контроль та технічна діагностика

Україна, Київ, 19-21 листопада 2019

ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України
Міжнародний виставковий центр

Основні теми конференції:

- нові методи і технології неруйнівного контролю;
- моніторинг технічного стану і продовження експлуатаційного ресурсу об'єктів енергетики, нафто- і газопроводів;
- підвищення енергоефективності будівель та споруд;
- проблемні питання неруйнівного контролю в транспортній галузі;
- неруйнівний контроль дорожньої інфраструктури;
- стандартизація, підготовка і сертифікація персоналу;
- демонстрація сучасного обладнання для НКД виробниками і постачальниками

Важливі дати:

- | | |
|-------------------|------------------|
| Надання доповідей | до 30.09.2019 р. |
| Заявка на участь | до 20.10.2019 р. |
| Оплата за участь | до 31.11.2019 р. |

Адреса і телефони Оргкомітету:



Українське товариство
неруйнівного контролю
і технічної діагностики

Адреса для листів: 03150, м. Київ-150, а/с 187, УТ НКД
Тел.: (+380 44) 200-46-66, 205-22-49, 200-81-40, 205-21-96
e-mail: usndt@ukr.net
інтернет: www.usndt.com.ua