

УДК 621.313.3

Р.М. Христинич, Е.В. Христинич, А.Р. Христинич

ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ В РЕЛЬСОСВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В работе рассмотрены вопросы размагничивания рельсов в рельсосварочном производстве перед установкой плетей, особенности существующих систем размагничивания рельсов, проведены исследования эффективности размагничивания рельсов при применении комплексов, работающих на промышленной частоте, представлена система комплексного размагничивания рельсов для промышленного применения.

Ключевые слова: размагничивание, рельс, рельсовые плети, программный комплекс, соленоид.

R.M. Khristinich, E.V. Khristinich, A.R. Khristinich

THE RESEARCH ON THE LONG-WELDED RAILDEGAUSSING IN THE RAIL WELDING PRODUCTION

The issues of the rail degaussing in the rail welding production before long-welded rail installation, peculiarities of the rail degaussing existing systems are considered in the article, research on the efficiency of the rail degaussing in the application of the complexes working at the industrial frequency is conducted, the system of the rail complex degaussing for industrial application is presented.

Key words: degaussing, rail, long-welded rail, software complex, solenoid.

1. Размагничивание рельсов перед установкой рельсовых плетей

На сети железных дорог давно существует проблема намагниченности рельсов. Она служит причиной сбоев автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН), вследствие чего приборы безопасности локомотива получают ложный кодовый сигнал, который не соответствует сигналам путевого светофора.

Намагниченность рельсов возникает при их погрузке (в местах захвата), а также при сварке рельсовых плетей. Существующие приборы, которые применяют в дистанциях пути и на рельсосварочном поезде для размагничивания рельсов, дают эффект только на 60–70 %. Остаточная намагниченность остаётся всегда.

Основным и наиболее широко применяемым устройством для размагничивания рельсов являются соленоидальные катушки (соленоиды).

В качестве соленоидов широко применяются катушки Гельмгольца, которые традиционно используют для получения практически однородного магнитного поля. При прохождении через это поле металлические рельсы размагничиваются. Расчет соленоидов можно провести при использовании методики, изложенной в [1].

Работа такой установки основана на принципе размагничивания в плавно изменяющемся переменном магнитном поле. Переменное магнитное поле создается двумя соленоидами, расположенными соосно. Рельс размагничивается, проходя через плавно возрастающее и затем плавно убывающее переменное магнитное поле.

2. Особенности существующих систем размагничивания рельсов

Наиболее широко применяемой установкой для размагничивания рельсов в условиях сварочного производства являются установки размагничивания рельсов (УРР) или их аналоги (рис. 1).



Рис. 1. Установка УРР для размагничивания рельсов в рельсосварочном производстве

Установка УРР предназначена для размагничивания рельсов и рельсовых плетей в технологическом потоке рельсосварочного производства (РСП). Размагничивание рельсов позволяет избежать сбоев АЛСН, связанных с ее чувствительностью к токовихревым моментам, что в целом обеспечивает надежную работу АЛСН.

Работа установки основана на принципе размагничивания в плавно изменяющемся переменном магнитном поле. Переменное магнитное поле создается двумя соленоидами, расположенными соосно. Рельс размагничивается, проходя через плавно возрастающее и затем плавно убывающее переменное магнитное поле.

Состав установки УРР: блок размагничивания (индуктор); шкаф управления; устройство приемное; устройство выходное.

Питание установки осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В. Полная мощность, потребляемая установкой от сети питания при номинальном напряжении, не превышает 27000 ВА. Установка создает переменное магнитное поле не менее 30000 А/м с частотой 50 Гц, при суммарном токе через катушки не менее 120 А (при отсутствии рельса).

3. Исследования эффективности размагничивания рельсов при применении комплексов, работающих на промышленной частоте

Исследования намагниченности рельсов проводились на рельсосварочном производстве Красноярской железной дороги. Основной задачей опытных исследований являлось исследование снижения намагниченности рельсов при использовании установки типа УРР, работающей на частоте питающего напряжения, равной 50 герц.

Измерения проводились для двух составляющих величины магнитной индукции: поперечной, направленной перпендикулярно головке рельса; продольной, направленной параллельно головке рельса.

Рельс подавался на рельсосварочной машине в исследуемую область, в которой размещался высокочувствительный датчик. Одним из важных вопросов было исследование изменения поперечной составляющей магнитной индукции в зависимости от расстояния датчика до головки рельса. Зависимость представлена на рисунке 2.

Изменение поперечной составляющей магнитной индукции в зависимости от расстояния до головки рельса имеет практически линейный характер. Это позволяет использовать высокочувствительные датчики для измерения магнитной индукции рельса, а также остаточной намагниченности, располагая датчик на значительном расстоянии от головки рельса.

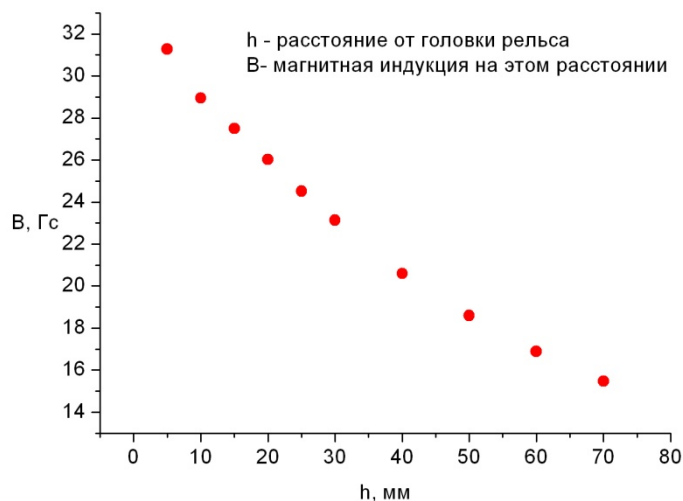


Рис. 2. Изменение магнитной индукции над поверхностью головки рельса

Расположение датчика магнитной индукции на расстоянии от измеряемой части рельса обусловлено:

- биениями рельса при работе рельсосварочной машины;
- высокой температурой рельса в месте сварки стыка.

Изменение поперечной составляющей магнитной индукции вдоль рельса представлены на рисунке 3. Характер кривой показывает, что на рельсе имеются магнитные пятна, которые неравномерно расположены по длине рельса. Величина поперечной составляющей магнитной индукции над поверхностью головки рельса

са может достигать 25 Гс и более. Наибольшее значение магнитной индукции наблюдается в начале рельса – 23,5 Гс. Величина магнитной индукции в последующих магнитных пятнах может достигать до 20,0 Гс.

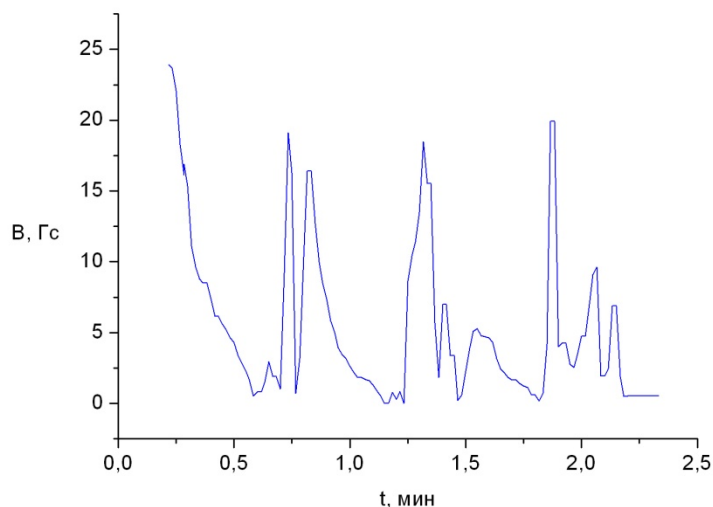


Рис. 3. Изменение магнитной индукции по длине рельса

Исследования намагниченности рельса проводились по всей длине. На графике рисунка 3 представлено изменение магнитной индукции во времени при равномерном протягивании рельса под датчиком по всей длине.

При прохождении рельса через установку размагничивания типа УРР наблюдается снижение величины поперечной составляющей магнитной индукции в местах обнаружения магнитных пятен примерно от 1,82 до 8 раз. В значительной степени эффективность размагничивания рельса в поверхностном слое зависит также от скорости протягивания рельса через область действия электромагнитного поля.

Важным фактором при проведении размагничивания рельсов является скорость прохождения рельса через индуктор УРР. Такие параметры изменения скорости движения рельса через индуктор УРР могут наблюдаться вследствие следующих причин: начало движения рельса; проскальзывание приводных роликов при движении рельса; установка рельса на отметку сварки и т.п. При значительном изменении скорости (например, в 2 раза) движения рельса через индуктор УРР наблюдается снижение эффективности размагничивания, например в 1,5–2,0 раза.

Измерения магнитной индукции по длине рельса показывают, что возможна периодичность магнитных пятен для рельса (рис. 3). Характер магнитных пятен показывает, что они могут иметь резко выраженный фронт с одной стороны и более пологий фронт с другой стороны, который, возможно, определяется направлением прокатки.

Одним из важных аспектов при проведении размагничивания рельсов является наличие остаточной намагниченности в рельсе. Этот фактор обусловлен незначительной глубиной проникновения электромагнитного поля в тело рельса.

Определим глубину проникновения электромагнитного поля в рельс, приняв следующие параметры:

- материал рельса – сталь М74 или М76 (различной модификации);
- группа рельсов – I или II;
- магнитная проницаемость (относительная) рельса – 220;
- электропроводность рельса - $7,6 \cdot 10^6$ см/м.

Глубина проникновения электромагнитной волны в тело рельса может быть определена из выражения [2]

$$e^{-kd} = e^{-1}. \quad (1)$$

Отсюда следует, что

$$kd = 1 \quad \text{или} \quad d = \frac{1}{k}, \quad (2)$$

где d – глубина проникновения электромагнитного поля в проводящую среду, м; k – величина, обратная глубине проникновения электромагнитного поля, 1/м.

Глубина проникновения электромагнитной волны зависит от свойств проводящей среды γ и μ_a , а также от частоты ω .

Здесь γ – электропроводность материала (Ом*м)⁻¹;

$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0$ – абсолютная магнитная проницаемость материала, гн/м;

μ_r – относительная магнитная проницаемость;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость вакуума, гн/м;

$\pi = 3,1415$;

ω – циклическая частота, с⁻¹.

Так, если электромагнитная волна имеет циклическую частоту, с⁻¹,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi * 50 = 314 \quad (3)$$

и проникает в проводящую среду, у которой $\gamma = 7,6 * 10^6$ (Ом*м)⁻¹ и $\mu_r = 220$, то

$$k = \sqrt{\frac{\omega\gamma\mu_a}{2}} = \sqrt{\frac{314 * 7,6 * 10^6 * 220 * 4\pi * 10^{-7}}{2}} = 574,19. \quad (4)$$

Тогда глубина проникновения электромагнитной волны в тело рельса на частоте $f = 50$ гц будет равна

$$d = \frac{1}{k} = \frac{1}{574,19} = 0,00174, \quad (5)$$

где d – глубина проникновения электромагнитной волны, м;

ω – циклическая частота электромагнитного поля, 1/с;

$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0$ – абсолютная магнитная проницаемость материала, гн/м;

μ_r – относительная магнитная проницаемость;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость вакуума, гн/м;

γ – удельная электропроводность материала, см/м.

Анализ выражения (5) показывает, что на расстоянии 1,74 мм амплитуда напряженности магнитного поля \vec{H} и напряженность электрического поля \vec{E} снизились в 2,71 раза.

С использованием выражения (5) вычисляется глубина проникновения электромагнитной волны в тело рельса при изменении частоты (табл.).

Изменение глубины проникновения d электромагнитного поля в тело рельса от частоты f

f, гц	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	5,0
d, мм	1,74	1,94	2,24	2,75	3,89	5,5

Определим длину проникновения электромагнитной волны λ в тело рельса, то есть расстояние вдоль направления распространения волны, на котором фаза колебания изменяется на 2π . Длину волны определим из уравнения

$$\lambda k = 2\pi. \quad (6)$$

Отсюда на частоте $f = 50$ гц длина волны λ будет равна

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{574,19} = 0,01. \quad (7)$$

Определим фазовую скорость распространения электромагнитной волны в теле рельса. Известно, что фаза колебания определяется выражением

$$\omega t - kz + \psi_a. \quad (8)$$

Учитывая, что производная от постоянной величины равна нулю

$$\frac{d}{dt}(\omega t - kz + \psi_a) = 0, \quad (9)$$

или

$$\omega - k \frac{dz}{dt} = 0; \quad \frac{dz}{dt} = v_\phi, \quad (10)$$

где t – время, с; z – путь, пройденный электромагнитной волной, м; ψ_a – начальная фаза электромагнитной волны; $\frac{d}{dt}$ – производная по времени.

Тогда для частоты $f = 50$ гц фазовая скорость v_ϕ будет равна, м/с

$$v_\phi = \frac{\omega}{k} = \frac{314}{574,19} = 0,546. \quad (11)$$

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что работа системы размагничивания рельсов на промышленной частоте позволяет ликвидировать магнитные пятна на рельсе только в поверхностном слое на глубину не более 1,74 мм. Глубинные слои рельса остаются намагниченными, а воздействие переменного магнитного поля индуктора не оказывает на них сколь-нибудь значимого воздействия.

Проведенные измерения продольной составляющей магнитной индукции на торцах рельса показывают, что практически по всему телу рельса остаточная величина магнитной индукции составляет 78,86 гс. Это позволяет предположить, что по истечении времени снова появятся магнитные пятна на рельсе в процессе эксплуатации.

В связи с этим можно сделать вывод, что для эффективного размагничивания рельсов в рельсосварочном производстве необходимо применять питание индуктора напряжением пониженной частотой. Используя данные таблицы, можно рекомендовать для размагничивания частотный диапазон в интервале от 10 до 5 герц. Такой частотный диапазон позволит электромагнитному полю полностью проникать в тело рельса и обеспечит практически полное размагничивание по всей его глубине. Исследование распространения электромагнитного поля в ферромагнитной и неферромагнитной средах на пониженных частотах приведено в [3].

4. Система комплексного размагничивания рельсов для промышленного применения

Комплекс для размагничивания рельсовых плетей в рельсосварочном производстве представлен на рисунке 4.

Работа комплекса осуществляется в следующей последовательности. При движении рельса Р рельсовой плети на рельсосварочной машине вперед срабатывает датчик управляющий ДУ и подается сигнал на включение источника питания ИП и индуктора И.

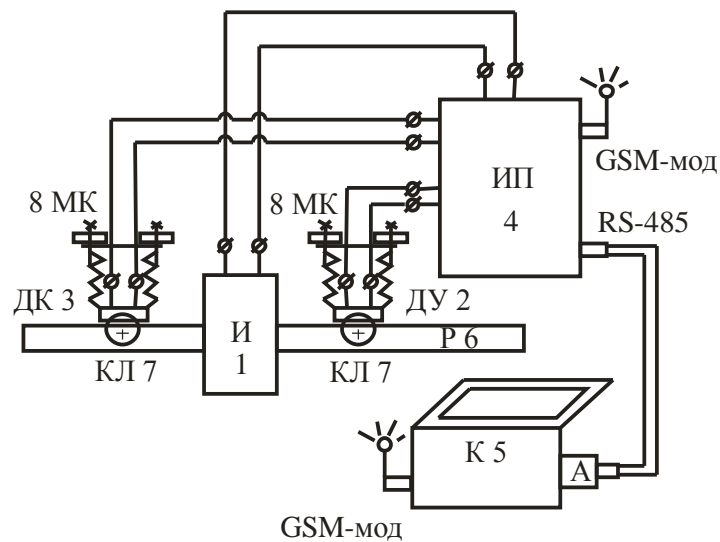


Рис. 4. Структурная схема комплекса размагничивания рельсов

Напряжение питания пониженной частоты (например, 10 гц) подается на индуктор И, который создает переменное электромагнитное поле в области рельса. Электромагнитное поле размагничивает магнитное пятно рельса, которое попало под действие электромагнитного поля индуктора И. Остаточная величина намагниченности рельса контролируется датчиком контролирующим ДК, который расположен за индуктором И по ходу движения рельса Р. Датчики ДУ и ДК крепятся при помощи механизма крепления датчика МК, а фиксированное расстояние от датчика до головки рельса обеспечивается при помощи колеса датчика КЛ или иного механизма. Датчики КЛ контролируют также скорость движения рельса Р относительно индуктора И. При остановке движения рельса Р (или движения рельса в обратном направлении) питание на индуктор не подается.

Если после прохождения рельса через область индуктора датчик, контролирующий ДК, выдает сигнал, что имеется остаточная намагниченность рельса, превышающая допустимую, то выдается команда на повторное проведение размагничивания рельса в этом месте. Параметры источника питания ИП пониженной частоты, параметры индуктора И, график исходной намагниченности рельса Р и остаточной намагниченности рельса Р, табличные данные исходной и конечной намагниченности передаются через порт, например RS-485, по каналам GSM-связи на программно-аппаратный комплекс контроля эффективности размагничивания рельсовых плетей, основой которого является компьютер К со специальным программным обеспечением (рис. 5).

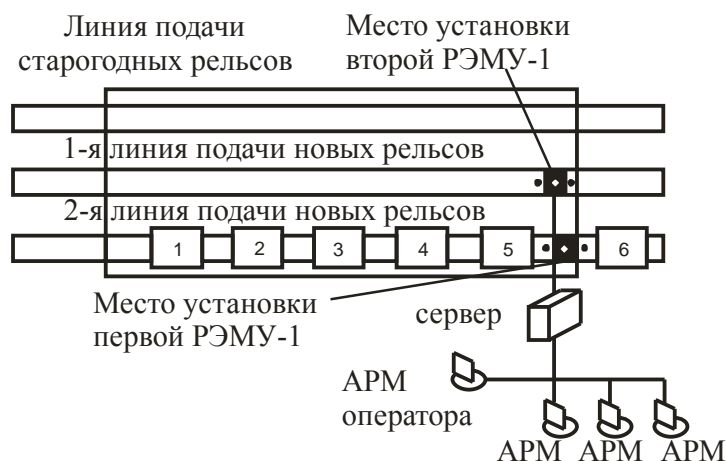


Рис. 5. Структурная схема программно-аппаратного комплекса: 1 – зачистка контактных плоскостей; 2 – электроконтактная сварка; 3 – грубая шлифовка; 4 – чистая шлифовка; 5 – термообработка; 6 – дефектоскопия

Программно-аппаратный комплекс контроля эффективности размагничивания рельсовых плетей предназначен для автоматизированного непрерывного контроля работоспособности и эффективности применения размагничивающих устройств в технологии рельсосварочного производства.

Программно-аппаратный комплекс оснащается измерительными и регистрирующими приборами для определения работоспособности размагничивающих устройств; датчиками Холла или магниторезистивными датчиками для определения эффективности их использования и измерения уровня намагниченности.

Программный комплекс имеет программное обеспечение АРМ оператора участка дефектоскопии для отображения, записи и хранения результатов измерений и показаний приборов, а также для формирования сертификата размагничивания для каждой рельсовой плети.

Конструкция измерительных приборов для определения работоспособности и эффективности использования размагничивающих устройств имеет возможность стационарного крепления. Датчик определения уровня намагниченности рельса измерительного прибора имеет чувствительность, достаточную для измерения магнитной индукции на расстоянии 4–6 см от поверхности головки рельса. Программно-аппаратный комплекс питается от сети напряжением 380 (220) В.

График работы программно-аппаратного комплекса рассчитан на круглосуточный режим работы. Включение исполнительных механизмов комплекса осуществляется при наличии движения рельсовой плети, а отключение происходит при остановке ее движения. Комплекс имеет возможность передачи информации о работоспособности устройств размагничивания и качестве размагничивания на ПЭВМ АРМ оператора участка дефектоскопии в режиме реального времени для принятия неотложных решений.

Программное обеспечение АРМ оператора участка дефектоскопии совместимо с операционной системой Windows и работает в локальной вычислительной сети с возможностью подключения удаленных пользователей.

В интерфейсе АРМ оператора участка дефектоскопии отображается график измерений намагниченности рельса с его номером и другими данными до и после размагничивания, табличные значения намагниченности рельса до и после размагничивания, индикатор размагничивающих устройств. Программное обеспечение АРМ оператора имеет возможность записи в архив и хранения данных измерений, а также формирования журнала отчета, паспорта размагничивания рельсовой плети.

Выводы

1. Рассмотрены существующие системы размагничивания рельсовых плетей, работающие на промышленной частоте, конструктивно выполненные на основе колец Гельмгольца. Признана их простота и надежность в эксплуатации.

2. Проведены исследования эффективности размагничивания рельсовых плетей существующей системой, работающей на промышленной частоте. Измерения показали, что такие системы эффективно размагничивают рельс в поверхностной области, снижая величину магнитной индукции примерно в 2–8 раз.

3. Измерения намагниченности на торцах рельса после проведения размагничивания показали, что тело рельса остается намагниченным и остаточная величина магнитной индукции может достигать 78 Гс и более.

4. Представлена система комплексного размагничивания рельсов для промышленного применения, рассмотрены ее особенности при реализации в промышленном рельсосварочном производстве.

Литература

1. *Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.* Расчет индуктивностей: справ. книга. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
2. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники: электромагнитное поле: учеб. для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1978. – 231 с.
3. *Христинич Р., Христинич А., Христинич Е.* Искусственный интеллект в энергетике и промышленности // LAP Lambert Academic Publishing. – Германия, 2013. – 177 с.

