

**Гостевская А. Н.**  
**A. N. Gostevskaya**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ НА ЗОНУ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ РЕЛЬСОВ МАРКИ Э76ХФ**

### **STUDY OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS CONTACT BUTT WELDING ON THE ZONE OF THERMAL INFLUENCE OF E76HF RAILS**

**Гостевская Анастасия Николаевна** – аспирант Сибирского государственного индустриального университета (Россия, Новокузнецк). E-mail: lokon1296@mail.ru.

**Anastasia N. Gostevskaya** – Post-Graduate Student, Siberian State Industrial University (Russia, Novokuznetsk). E-mail: lokon1296@mail.ru.

**Аннотация.** В работе проведено исследование влияния контактного подогрева режимов сварки на макро- и микроструктуру сварных соединений рельсов марки Э76ХФ. При исследовании установлены оптимальные параметры сварки, благодаря которым возможно получить требуемую структуру материала.

**Summary.** In this work, the study of the effect of contact heating of welding modes on the macro- and microstructure of welded joints of E76HF rails was carried out. In the course of the study, the optimal welding parameters were established, thanks to which it is possible to obtain the required material structure.

**Ключевые слова:** контактная стыковая сварка, сварной шов, рельсовая сталь, структура, зона термического влияния.

**Key words:** resistance butt welding, weld seam, rail steel, structure, heat-affected zone.

УДК 669.72

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-48-420003 р\_а «Развитие физико-химических и технологических основ создания принципиально нового способа сварки дифференцированно термоупрочнённых железнодорожных рельсов».

Разрушение железнодорожных рельсов является одной из самых актуальных проблем на сегодняшний день. Существующие технологии сварки не позволяют обеспечить необходимую надёжность сварных соединений [1–3]. На сегодняшний день активно развиваются строительство и укладка скоростных магистралей железных дорог с использованием рельсов типа Р65, изготовленных из рельсовой стали.

Одной из важных проблем сварки рельсов является несоответствие данных, полученных при исследовании контрольных образцов после сварки непрерывным или пульсирующим оплавлением и образцов без воздействия на сварное соединение термообработкой. В сравнении с отечественным способом при сварке рельсовых стыков зарубежный метод выдвигает специальные требования по термообработке. Способ непрерывного оплавления приводит к удлинению зоны термического влияния, что воздействует на прочность сварных соединений рельсовых стыков.

Изучение свойств сварных стыков рельсов показало, что на сегодняшний день сварка рельсов методом непрерывного оплавления не позволяет достигнуть необходимого уровня прочностных характеристик, что, в свою очередь, приводит к образованию в металле сварного стыка сварочных дефектов. Из-за этого происходит падение срока службы рельсов и приводит к большим затратам на ремонт.

Исследования показали, что важными условиями, приводящими рельсы к разрушению, считаются наличие в стали неметаллических включений, присутствие непозволительной структу-

ры в сварном соединении и протяжённость зоны термического влияния. Целью работы является изучение влияния режимов сварки на твёрдость, уровень загрязнённости неметаллическими включениями, а также макро- и микроструктуру сваренных образцов.

Для проведения исследований была выбрана рельсовая сталь марки Э76ХФ, с химическим составом образцов, приведённым в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав образцов рельсовой стали

Химический элемент	Массовая доля элементов, %		
	Режим № 0	Режим № 1	Режим № 2
C	0,76	0,76	0,76
Mn	0,77	0,77	0,77
Si	0,53	0,53	0,53
Cr	0,37	0,36	0,36
V	0,04	0,04	0,04
P	0,009	0,014	0,014
S	0,005	0,007	0,007
Al	0,003	0,003	0,003
Ni	0,07	0,06	0,06
Cu	0,11	0,08	0,08
Ti	0,002	0,002	0,002
Mo	0,005	0,004	0,004
Nb	0,001	0,001	0,001
Sn	0,005	0,004	0,004
Sb	0,002	0,001	0,001
O	0,0009	0,0009	0,0009
H, ppm	1	1,1	1,1

Для сварки использовались образцы из рельсов сечением 10×30 мм и длиной 90 мм. Образец № 0 получен способом контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением без термообработки. Контактную стыковую сварку непрерывным оплавлением проводили на машине МС-20.08 по режиму:  $K_{тр} = 65$ ,  $U_2 = 5,76$  В,  $I_2 = 11,7$  кА,  $V_{опл} = 1$  мм/с,  $\Delta_{опл} = 10$  мм,  $\Delta_{ос} = 4$  мм, где  $K_{тр}$  – коэффициент трансформации;  $U_2$  – вторичное напряжение;  $I_2$  – вторичный ток;  $V_{опл}$  – скорость оплавления;  $\Delta_{опл}$  – припуск на оплавление;  $\Delta_{ос}$  – припуск на осадку.

При сварке образцов № 1 и № 2 происходил подвод дополнительного тепла в момент их охлаждения путём пропускания через сварной стык переменного электрического тока по заданным режимам (см. табл. 2). Исследуемыми параметрами введения дополнительного тепла являлись:  $X_1$  – время охлаждения после осадки (характеризуется скоростью охлаждения (степенью переохлаждения аустенита) и температурой  $T_1$ , до которой происходит охлаждение);  $X_2$  – время подогрева (характеризуется температурой  $T_2$ , до которой происходит нагрев);  $X_3$  – время охлаждения после подогрева (характеризуется температурой  $T_1$ , до которой происходит охлаждение);  $X_4$  – количество импульсов подогрева (характеризуется инкубационным периодом превращения аустенита в перлит).

Таблица 2

Режимы контактного подогрева образцов стали Э76ХФ

Номер режима	$X_1$ , с	$X_2$ , с	$X_3$ , с	$X_4$ , с
1	25	0,6	15	4
2	25	0,6	15	2

Исследование образцов стали Э76ХФ на неметаллические включения проводилось на металлографическом микроскопе OLYMPUS GX-51 при увеличении в 100 крат в соответствии с

ГОСТ 1778-70. Металлографический анализ изменений структуры проводился при увеличении в 500 крат в соответствии с ГОСТ 8233-56. Для создания оптического контраста образцы химически травились раствором, представляющим собой 4%-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте, в течение 6 с. Анализ и оценка микроструктуры образцов выполнены по ГОСТ 8233-56.

Зона термического влияния образца, полученного по режиму № 0 без дополнительного подвода тепла, имеет протяжённость 4 мм (см. рис. 1, а).

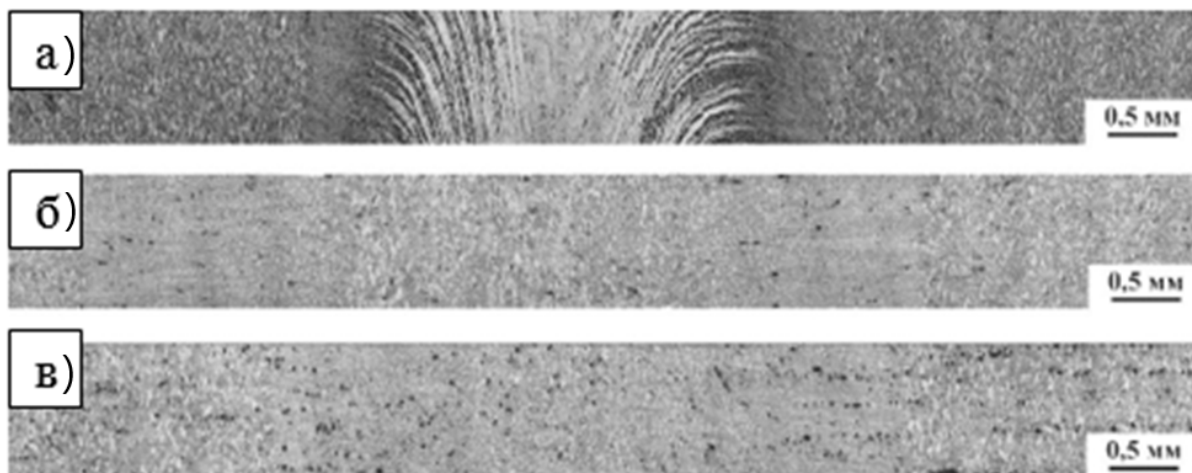


Рис. 1. Макроструктура образцов: а – образец № 0; б – образец № 1; в – образец № 2

В образце № 0, сваренном без дополнительного подвода тепла, были обнаружены включения в виде точечных оксидов (балл № 1) и недеформирующихся силикатов (балл № 1) (см. рис. 2, а).

На рис. 3 показано, что в микроструктуре зоны сварного шва и зоны крупного зерна присутствует структура игольчатого мартенсита. В зоне мелкого зерна и основного металла выявлена структура мелкодисперсного перлита.

Структура образца после сварки значительно отличается от исходного, в структуре в зоне сварного шва наблюдается игольчатый мартенсит. Исследование микроструктуры сварного шва позволило выявить, на какие зоны подразделяется материал после электроконтактной сварки:

1. основной металл (см. рис. 3, а);
2. участок мелкого зерна (нормализации) (см. рис. 3, б);
3. зона крупного зерна (см. рис. 3, в);
4. зона сварного шва (см. рис. 3, г).

Как видно из рис. 3, сварной шов и зона термического влияния имеют структуру игольчатого мартенсита. На расстоянии 4 мм от сварного соединения структура изменяется и представлена в виде перлита мелкой дисперсности. Структура образца через 8 мм от сварного соединения является характерной для основного металла.

Изучение образца № 1 показало, что зона термического влияния составляет 5 мм (см. рис. 1, б).

Исследования неметаллических включений образца, полученного по режиму № 1, показали, что данный образец является наиболее загрязнённым неметаллическими включениями. В образце были выявлены силикаты пластинчатые и точечные.

Анализ микроструктуры выявил в образце № 1 наличие следующих зон:

1. основной металл (см. рис. 4, а);
2. участок мелкого зерна (нормализации) (см. рис. 4, б);
3. зона крупного зерна (см. рис. 4, в);
4. зона сварного шва (см. рис. 4, г).

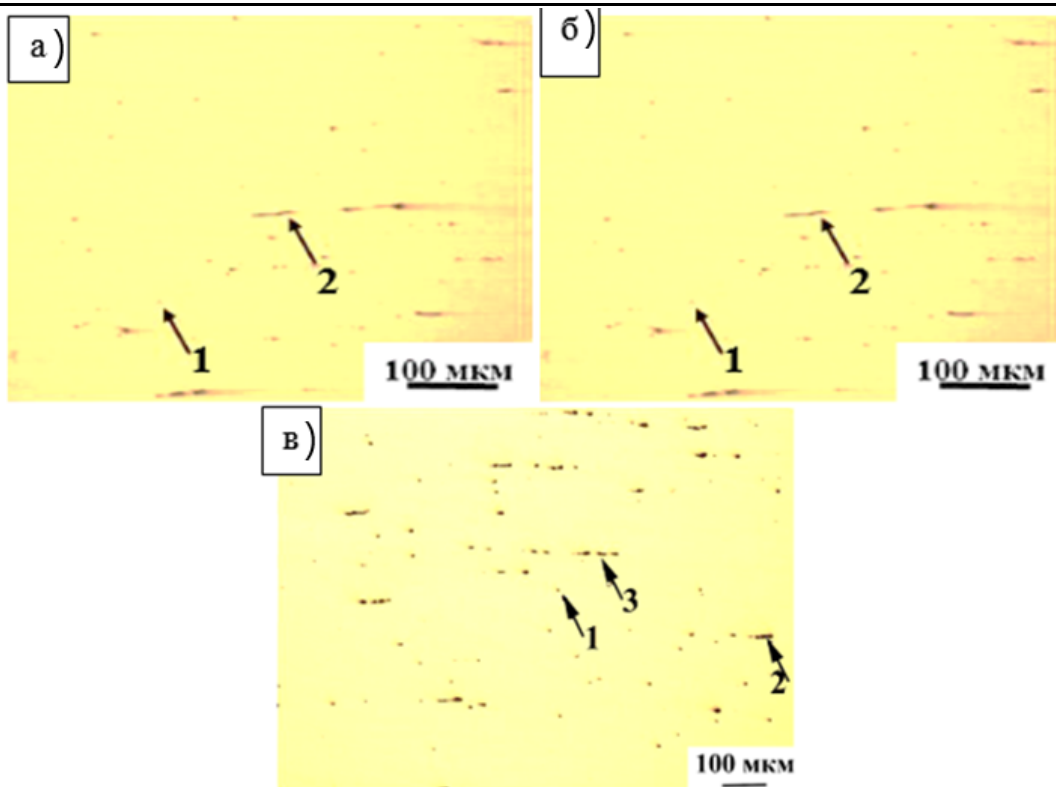


Рис. 2. Неметаллические включения сварного шва стали марки Э76ХФ образца № 0 (а), образца № 1 (б), образца № 2 (в): 1 – точечные оксиды; 2 – силикаты пластинчатые; 3 – строчечные нитриды

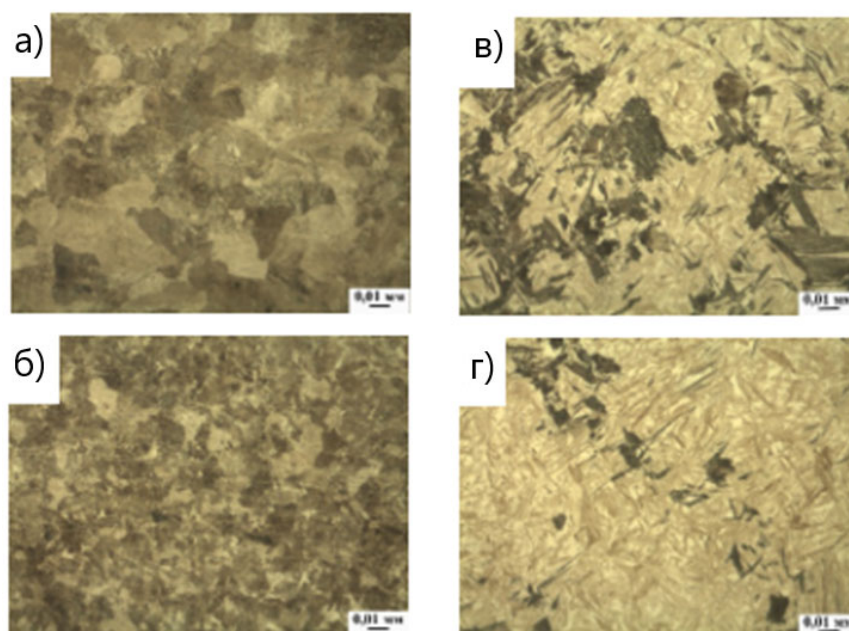


Рис. 3. Микроструктура образцов, полученная при сварке по режиму № 0 с дополнительным подводом тепла: а – основной металл > 4 мм (перлитная структура); б – зона мелкого зерна 2,8-4 мм (структура перлита различной степени дисперсности); в – зона крупного зерна 0,5-2,8 мм (игольчатый мартенсит + перлит); г – сварной шов 0-0,5 мм (игольчатый мартенсит)

Микроструктура образца стали Э76ХФ после сварки с дополнительным контактным подогревом по режиму № 1 представляет собой тонко- и мелкопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием до 0,6 мкм (см. рис. 4).

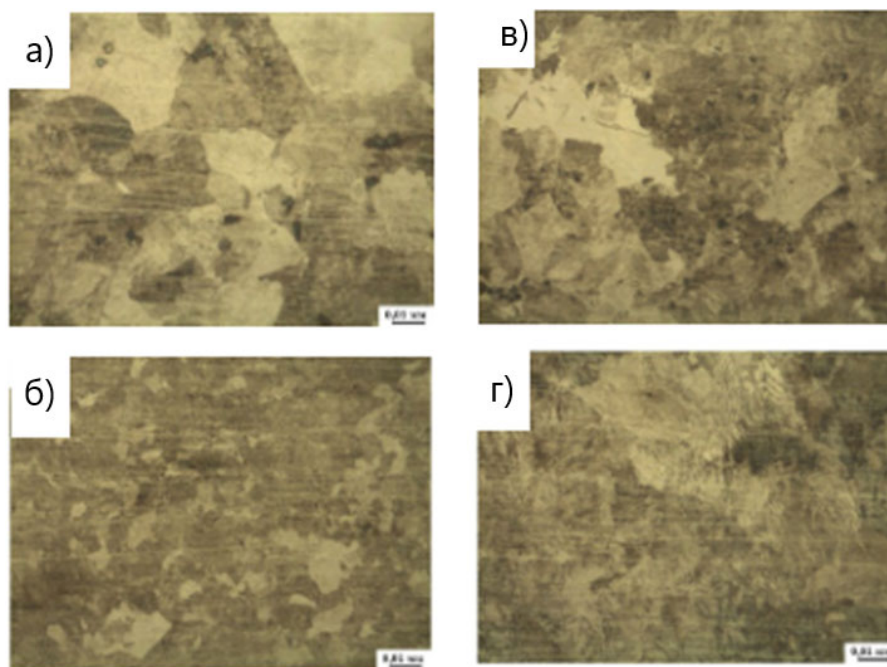


Рис. 4. Микроструктура образцов, полученная при сварке по режиму № 1 с дополнительным подводом тепла: а – основной металл > 5 мм (перлитная структура); б – зона мелкого зерна 2,5-5 мм (структура перлита различной степени дисперсности); в – зона крупного зерна 0,5-2,5 мм (перлит); г – сварной шов 0-0,5 мм (перлит)

Зона термического влияния образца, полученного по режиму № 2 с применением дополнительного контактного подогрева, имеет протяжённость 5 мм (см. рис. 1, в).

Исследования неметаллических включений образца, полученного по режиму № 2, показали, что данный образец является наиболее загрязнённым неметаллическими включениями. В образце были выявлены силикаты пластинчатые (балл № 1), точечные оксиды (балл № 2) и строчечные нитриды (балл № 2) (см. рис. 2, в).

Микроструктура, представленная на рис. 5, позволила выделить в образце, полученном по режиму № 2, области, идентичные установленным на вышеупомянутых образцах:

1. сварной шов (см. рис. 5, г);
2. зона крупного зерна (см. рис. 5, в);
3. участок мелкого зерна (нормализации) (см. рис. 5, б);
4. основной металл (см. рис. 5, а).

По результатам проведённого анализа установлено, что в сварном шве преобладает сорбитообразный перлит. В зоне крупного зерна преобладает структура среднепластинчатого перлита. В основном металле, как и в остальном образце, преобладает перлитная структура.

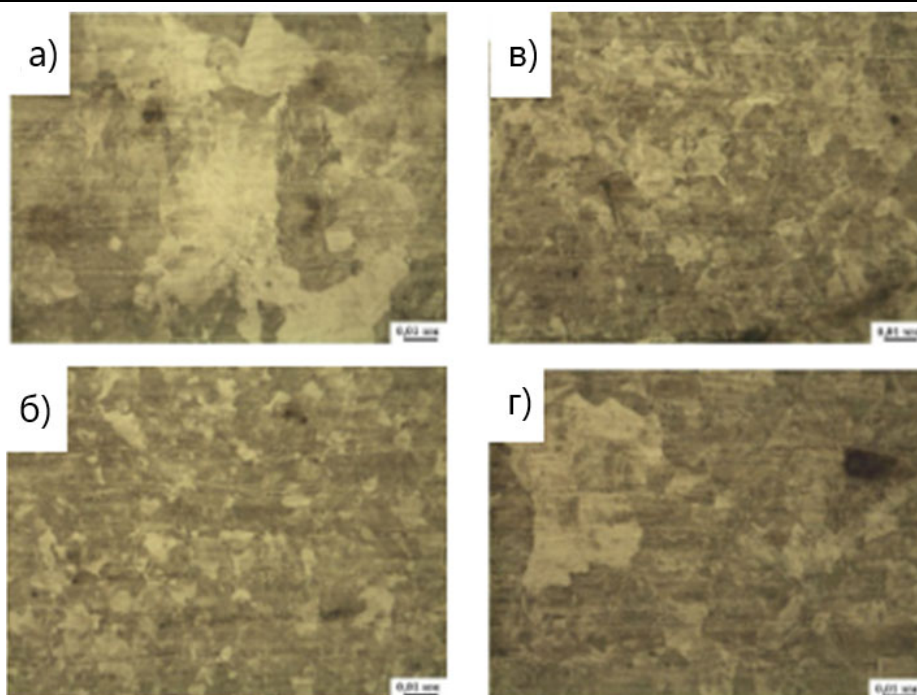


Рис. 5. Микроструктура образцов, полученная при сварке по режиму № 2 с дополнительным подводом тепла: а – основной металл > 5 мм (перлитная структура); б – зона мелкого зерна 2,8-5 мм (структура перлита различной степени дисперсности); в – зона крупного зерна 0,5-2,8 мм (перлит); г – сварной шов 0-0,5 мм (пластинчатый перлит)

По результатам исследования в соответствии с ГОСТ 1778-70 было установлено, что основными типами неметаллических включений в сварных швах являются точечные оксиды, силикаты пластинчатые и строчечные нитриды. Было установлено, что режимы контактной стыковой сварки с дополнительным подводом тепла не оказывают значительного влияния на загрязнённость образцов. На основании полученных экспериментальных данных сделан вывод, что при сварке по режиму № 0 (параметрами  $K_{тр} = 65$ ,  $U_2 = 5,76$  В,  $I_2 = 11\,700$  А,  $\Delta_{опл} = 10$  мм,  $\Delta_{ос} = 4$  мм,  $V_{опл} = 1$  мм) образец более подвержен разрушению и образованию дефектов в сварном шве и зоне термического влияния при эксплуатации. Наилучшими параметрами контактного подогрева после сварки с точки зрения полученной микроструктуры и протяжённости зоны термического влияния являются параметры, использованные в режиме № 1 (режим контактного подогрева: время охлаждения после осадки 25 с, время подогрева 0,6 с, время охлаждения после подогрева 10 с, количество импульсов подогрева 4 с). Этот режим даёт возможность получить сварное соединение из рельсовой стали типа Р65 марки Э76ХФ в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51685-2013 по структуре.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин, И. З. Сварные рельсы и стрелочные переводы / И. З. Генкин. – М.: Интекст, 2003. – 93 с.
2. Исследование структуры сварного соединения рельсовой стали марки Э76Х при различных параметрах изотермической выдержки / К. А. Бутакова [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии наук. Отделение металлургии. – 2018. – № 41. – С. 221-224.
3. Бахматов, П. В. Влияние режимов лазерной сварки тонкостенных конструкций на структуру и свойства сварных соединений из нержавеющей сталей / П. В. Бахматов, Н. О. Плетнев // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № III-1(39). – С. 81-95.