

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА СВАРКИ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЗОНЫ
ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО ШВА СТАЛИ 09Г2С**

Е.А. Ожиганов¹, Н.А. Попова², Е.Л. Никоненко^{2,3}, А.Н. Смирнов^{1,4}

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.Н. Смирнов^{1,4}

¹ООО «Кузбасский центр сварки и контроля», Россия, г. Кемерово, пр. Ленина, 33/2, 650055

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

⁴Кузбасский государственный технический университет, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, 650000

E-mail: zhigan84@mail.ru

**STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF WELDED JOINT IN 0,09C-2Mn-1Si-Fe STEEL
DEPENDING ON WELDING PROCESS**

E.A. Ozhiganov¹, N.A. Popova², E.L. Nikonenko^{2,3}, A.N. Smirnov^{1,4}

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.N. Smirnov^{1,4}

¹LLC “Kuzbass Center of Welding and Control”, Russia, Kemerovo, Lenin Str., 33/2, 650055

²Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya Sq., 2, 634003

³National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, Lenin ave., 3, 0634050

⁴Kuzbass State Technical University, Russia, Kemerovo, Vesennyaya Str., 28, 650000

E-mail: zhigan84@mail.ru

***Abstract.** The paper presents the transmission electron microscopy investigations of the structure and phase composition of welded joint formed by four types of welding process, namely: electrode welding with and without the introduction of artificial flaws and electropercussive welding also with and without the introduction of artificial flaws. Artificial flaws are pieces of aluminum. TEM investigations allow studying the structure and phase composition within the heat-affected zone at 1 mm distance from base material. Welded material is the type 0,09C-2Mn-1Si-Fe steel. It is shown that the type of welding affects the material morphology, phase composition, defect structure and its parameters.*

Введение. Современная технология испытывает множество различных способов сварки. Любой применяемый способ сварки имеет свои достоинства и недостатки. Известно, что структурно-фазовое состояние металла, формирующееся в процессе сварки, влияет на физико-механические характеристики изделий. Поэтому до сих пор остаются актуальными задачи увеличения качества сварных соединений и их надежности. Это, прежде всего, касается стыков наплавленного и основного металла, т.е. зоны термического влияния. Именно такие места являются наиболее опасными концентраторами напряжений, которые приводят к образованию трещин и различных дефектов.

Цель настоящей работы – исследование структурно-фазового состояния зоны термического влияния сварного шва (зоны вблизи стыка наплавленного и основного металлов) в зависимости от вида сварки.

Материал и методы исследования. Материалом исследования являлось сварное соединение, образованное четырьмя методами сварки: 1) ручной дуговой сваркой (РДС) без искусственных дефектов; 2) РДС с введением искусственных дефектов; 3) импульсной сваркой без искусственных дефектов и 4) импульсной сваркой с введением искусственных дефектов. Искусственные дефекты – кусочки алюминия. Свариваемый (основной) металл – сталь 09Г2С.

Исследования выполнялись в зоне термического влияния на расстоянии 1 мм от стыка наплавленного и основного металлов в сторону основного металла. Изучение структуры и фазового состава проводилось методом просвечивающей дифракционной электронной микроскопии на тонких фольгах на электронном микроскопе ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ. Рабочее увеличение в колонне микроскопа составляло 25000 крат.

Результаты исследования. Проведенные исследования показали, что матрица свариваемого металла после сварки любым из исследованных в работе методом представляет собой α -фазу – твердый раствор углерода и легирующих элементов в α -Fe с ОЦК кристаллической решеткой. Морфологическими составляющими в зависимости от вида сварки являются пластинчатый перлит и феррит. Типичные электронно-микроскопические изображения тонкой структуры металла, сформированные разными методами сварки, приведены на рис. 1.

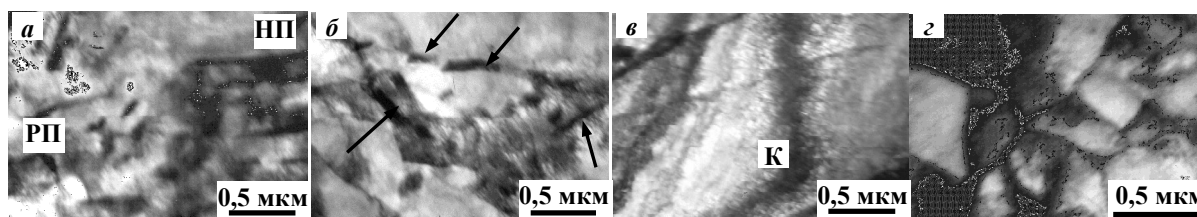


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение тонкой структуры основного металла сварного шва на расстоянии 1 мм от границы сплавления: а – перлит (НП – неразрушенный, РП – разрушенный), б – частицы цементита (отмечены стрелками) по границам зерен разрушенного перлита, в – нефрагментированный феррит (К – изгибный экстинкционный контур), з – фрагментированный феррит

Перлит в зависимости от способа сварки может присутствовать в двух модификациях: 1) в виде пластинчатого неразрушенного и 2) пластинчатого разрушенного. Пластинчатый перлит – это длинные параллельные (или почти параллельные) чередующиеся пластины цементита (Fe_3C) и α -фазы (феррита). Изображение перлита приведено на рис.1а. По границам зерен разрушенного перлита, как правило, присутствуют частицы цементита имеющие пластинчатую форму (рис.1б). Объемная доля перлита зависит от способа сварки (см. ниже рис.2а).

Феррит в металле шва при всех способах сварки также присутствует в двух модификациях: 1) в виде нефрагментированного (рис.1в) и 2) фрагментированного (рис.1з). Фрагментированный феррит – это структура, которая состоит из дислокационных субграниц (стенок фрагментов) и внутреннего пространства, содержащего или не содержащего дислокации. Фрагменты при всех способах сварки – преимущественно изотропные, т.е. выполняется соотношение: $L/D \approx 1$, где L – продольный размер фрагмента, D – его поперечный размер. Фрагменты содержат сетчатую дислокационную структуру. На

дислокациях присутствуют карбидные частицы округлой формы – цементит. Объемная доля феррита также зависит от способа сварки (см. ниже рис.2а).

На рис.2 представлено влияние метода сварки на количественные параметры структуры металла шва. Видно, что метод сварки, прежде всего, влияет на содержание морфологических составляющих матрицы металла шва (рис.2а). А именно, во-первых, основной объем материала матрицы стали занимает ферритная морфологическая составляющая. Во-вторых, введение искусственных дефектов при сварке методами как РДС, так и импульсной увеличивает объемную долю феррита и уменьшает долю перлита.

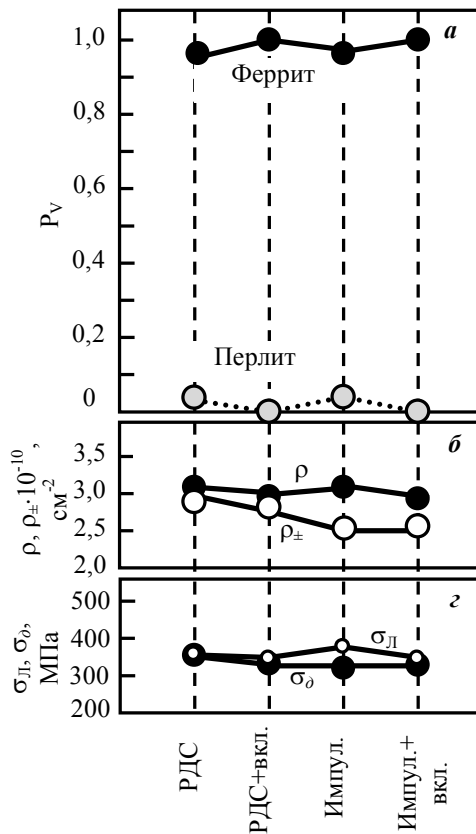


Рис.2. Влияние метода сварки на средние по материалу количественные параметры структуры основного металла

остается пластической и сохраняются неравенства: $\rho > \rho_{\pm}$ и $\sigma_{\text{л}} > \sigma_{\text{д}}$, т.е. скалярная плотность дислокаций ρ больше избыточной ρ_{\pm} , и амплитуда напряжений сдвига $\sigma_{\text{л}}$ превышает амплитуду внутренних дальнодействующих напряжений $\sigma_{\text{д}}$ (рис.2в).

Закключение. В результате проведенных методом ПЭМ исследований установлено, что:

1. морфологическими составляющими независимо от способа сварки являются пластинчатый перлит и феррит, их объемная доля зависит от способа сварки;
2. введение искусственных дефектов при любом способе сварки приводит к разрушению и исчезновению перлитной составляющей;
3. введение искусственных дефектов при любом методе сварки приводит к уменьшению количественных параметров дефектной структуры (ρ , ρ_{\pm} , $\sigma_{\text{л}}$, $\sigma_{\text{д}}$).

Выше отмечалось, что дислокационная структура во всех морфологических составляющих структуры – сетчатая. Измерения показали, что величина средней скалярной плотности дислокаций слабо зависит от метода сварки (см. рис.2б). Тем не менее, как при РДС, так и при импульсном способе сварки введение искусственных дефектов приводит к некоторому уменьшению величины $\langle \rho \rangle$.

Дислокационная структура при всех способах сварки поляризована. Об этом свидетельствует присутствие во всех морфологических составляющих изгибных экстинкционных контуров. Измерение параметров изгибных экстинкционных контуров позволяет определить кривизну-кручение кристаллической решетки. В общем случае амплитуда кривизны-кручения кристаллической решетки χ равна $\chi = \chi_{\text{пл}} + \chi_{\text{упр}}$, где $\chi_{\text{пл}}$ – пластическая, $\chi_{\text{упр}}$ – упругая составляющие χ . Было установлено, что при всех способах сварки в целом по материалу амплитуда кривизны-кручения кристаллической решетки χ характеризуется только пластической составляющей, т.е. $\chi = \chi_{\text{пл}}$. А это означает, что кривизна-кручение кристаллической решетки матрицы основного металла