

Многочисленные эксперименты показали, что при динамической обработке стали устойчиво реализуются необычные эффекты. Эти эффекты заключаются в динамическом легировании твердого тела метаемым веществом, которое в начальном этапе находится также в твердом агрегатном состоянии. Главным практическим результатом в данных условиях является преобразование массивного твердого тела в композиционный волоконный материал за доли секунды. Таким образом, технологическая операция, называемая «сверхглубокое проникание», позволяет эффективно легировать по объему и преобразовывать массивную стальную заготовку в композиционный материал [1].

#### Выводы

1. Обнаружены специфические режимы, при которых реализуются условия обеспечивающие прошивку микрочастицами свинца преграды из углеродистой стали на глубины до 20 мм.
2. Преобразование массивного стального материала в композит возможно при подводе дополнительной энергии к ударнику, как результат многочисленных пульсаций на тыльной поверхности ударника.

#### Список использованных источников

1. Ушеренко, С.М. Анализ процесса проникания. Динамическая перестройка структуры материалов. Кол. Монография – НИИ ИП с ОП, Мн.: 2000. – С. 85–100.

УДК 621.791

#### **Анализ макроструктуры и свойств соединений, полученных электронно-лучевой и механизированной сваркой в защитных газах плавящимся электродом низколегированной стали повышенной прочности**

Магистранты: Киселевич Р.А., Сахончик В.Ю.  
Научный руководитель – Урбанович Н.И.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

К деталям колеса относятся ободья, которые в настоящее время, например, на БелАЗе для их изготовления используют трубы из стали 20. Эта сталь относится к хорошему свариваемым, но имеет невысокие прочностные свойства. Для сварки элементов ободьев применяют механизированную дуговую сварку в защитных газах плавящимся электродом. Толщина стенки обода 16 мм., поэтому, согласно ГОСТ 14771–76 сварку осуществляют с двух сторон по три прохода с каждой стороны, Тип соединения стыковой с Х – образной разделкой.

Следует отметить, что при эксплуатации обод колеса испытывает знакопеременные нагрузки, работает в разных климатических условиях. В следствии чего в нем нарушается геометрия появляется овальность, а иногда и трещины, которые чаще всего возникают в зоне сварки, что в конечном итоге может привести к поломкам во время движения автосамосвала и быть причиной несчастного случая.

В рамках данной работы с целью снижения проявления указанных факторов предлагается заменить низкоуглеродистую сталь марки сталь 20 на низколегированную сталь повышенной прочности марки 09Г2С. Кроме повышенных прочностных свойств эта сталь обладает достаточно высокой пластичностью и сопротивляемостью ударным нагрузкам. Устойчивость свойств в широком температурном диапазоне позволяет применять детали из этой марки в интервале температур от -70 до +450 °С, что является весьма актуальным для сверхтяжелых машин, работающих в холодных климатических зонах, например, на крайнем Севере. Сталь 09Г2С относится к низколегированным конструкционным сталям, которые можно считать вполне пригодными для дуговых способов сварки. Эти стали не относятся к группе металлов, обладающих повышенной склонностью к образованию холодных и

горячих трещин. Вместе с тем необходимо отметить, что при повышенном содержании легирующих элементов и особенно углерода в стали проявляется чувствительность металла к образованию малопластичных закалочных структур. Склонность металла к образованию закалочных структур можно приближенно определить по значению углеродного эквивалента ( $C_{ЭКВ}$ ).

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \%$$

$$C_{ЭКВ} = + \frac{1,7}{6} + \frac{0,3 + 0 + 0}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,54, \%$$

Так как критической величиной  $C_{ЭКВ}$  является значение – 0,45%, значит данная сталь 09Г2С – склонна к образованию малопластичных закалочных структур в зоне термического влияния. Образование закаленных участков в сочетании с высоким содержанием диффузионного водорода в металле шва и наличием остаточных растягивающих сварочных напряжений способствуют образованию холодных трещин. Предотвратить попадание водорода в сварной шов, а так же снизить сварочные напряжения можно, применив передовые виды сварки, например, электронно - лучевую сварку (ЭЛС).

Электронно – лучевая сварка относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями. Она позволяет сваривать широкий диапазон толщин, соединять за один проход металлы и сплавы толщиной от 0,1 до 400 мм, получать узкие швы с глубоким проплавлением, уменьшить рост зерна в ЗТВ и минимизировать ее размеры, тем самым снизить сварочные напряжения и деформации. Еще одним существенным преимуществом ЭЛС является полная дегазация рабочей области, в результате чего отсутствие воздействия атмосферных кислорода и водорода на шов позволяет добиться его более однородной и плотной структуры и высоких физико – механических свойств изделий.

Целью данной работы является проведение оценки возможности применения ЭЛС для получения сварного соединения из стали 09Г2С, сравнительного анализа макро – микро-структуры и свойств соединений, полученных электронно-лучевой и механизированной сваркой в защитных газах плавящимися электродом.

В качестве материала для исследования использовали пластины толщиной 16 мм, размером 300 x 150мм из стали марки 09Г2С. Химический состав и механические свойства стали приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав стали марки 09Г2С по ГОСТ 19282-73

Марка стали	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Fe
09Г2С	До 0,12	От 0,5 до 0,8	От 1,3 до 1,7	До 0,3	До 0,3	До 0,3	~ 96-97

Таблица 2 – Механические свойства стали марки 09Г2С по ГОСТ 1577-81

Предел текучести, $\sigma_T$ , МПа	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение, $\delta$ , %
325	470	21

С целью проведения сравнительного анализа микроструктуры и свойств сварных соединений одно из соединений получали с применением ЭЛС, другое – механизированной сварки в защитных газах плавящимся электродом. ЭЛС сварку проводили на установке КЛ – 155 на следующих режимах: ускоряющее напряжение 60 кВ; ток луча 120 мА; диаметр круговой развертки 2 мм.; скорость сварки 25 м/ч.

Стыковое соединение (С25 ГОСТ 14471) получали с использованием дуговой сварки аппаратом «КЛОСС» на режимах: напряжение дуги  $U_d = 18-24$  В, ток сварки  $I_{св} = 130-160$  А, скорость сварки  $V_{св} = 15-20$  м/час, расход защитной смеси (Ar + CO<sub>2</sub>)  $Q_{Ar + CO_2} = 12-14$  л/мин, марка проволоки Св-08Г2С-О, диаметр сварочной проволоки 1,2.

Резку образцов для проведения металлографических исследований осуществляли механической пилой. Изучение структуры проводили с использованием поста микроконтроля МК – 1 на базе микроскопа МИ – 1 и программы обеспечения SIAMS 800. Твердость образцов измеряли на твердометре ПМТ-3М по методу Виккерса при нагрузке 200 г.

Увеличенное изображение общего вида соединений, полученных разными видами сварки плавлением и микроструктуры шва, ЗТВ и основного металла представлены на рисунке 1.

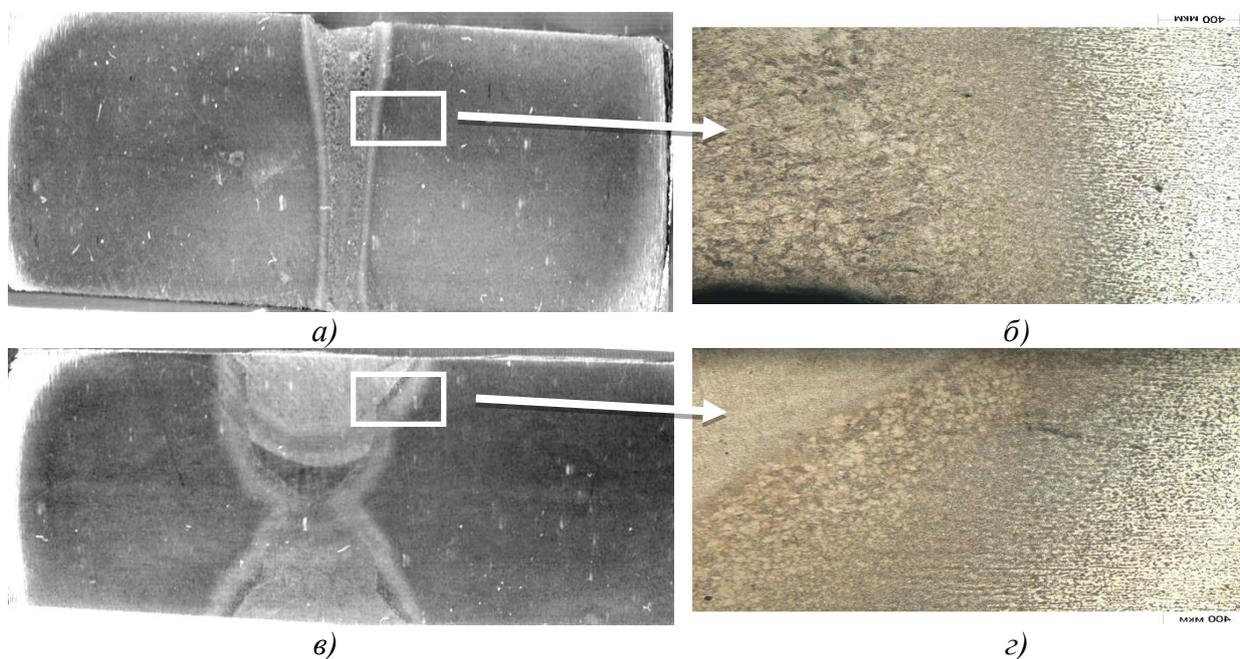


Рисунок 1 – Увеличенное изображение стыкового сварного соединения и микроструктур шва, ЗТВ, и основного металла:

*а* – стыковое соединение полученное ЭЛС;

*б* – микроструктур шва, ЗТВ, и основного металла после ЭЛС;

*в* – стыковое соединение, полученное дуговой сваркой;

*г* – микроструктур шва, ЗТВ, и основного металла после дуговой сварки

Сварное соединение, полученное ЭЛС (см. рисунок 1(а)), характеризуется глубоким узким швом и малой ЗТВ. Ширина шва составляет 3–5 мм. Микротвердость металла шва находится в пределах 210–220 HV<sub>200</sub>. В ЗТВ возле зоны сплавления (см. рисунок 1(б)) структура состоит из крупных феррито-перлитных зерен. По мере приближения к основному металлу размер зерен уменьшается. Микротвердость металла ЗТВ находится в пределах 220 –230 HV<sub>200</sub>. Наибольшее значение наблюдается в зоне сплавления 230–240 HV<sub>200</sub>. Такая твердость свойственна для пластинчатого перлита или сорбита[1]. Ширина ЗТВ равна 1–1.5 мм.

Общий вид сварного соединения, полученного механизированной сваркой в защитных газах плавящимся электродом, представлен на рисунке 1 (в). Следует отметить, что ширина шва после дуговой сварки в 2,5–3 раза больше, чем ширина шва, полученного ЭЛС и составляет 8–9 мм. Его микротвердость имеет значение 170 – 180HV<sub>200</sub>. ЗТВ сварного соединения шире в 2,5 – 3 раза ЗТВ сварного соединения, полученного ЭЛС, и составляет 3–4,5 мм. Изменения структуры в ЗТВ (см. рис. 1,г) носят такой же характер, как после ЭЛС. Микротвердость металла ЗТВ в среднем имеет значение 210 – 220HV<sub>200</sub>. Наибольшее значение наблюдается в зоне сплавления 220 230 HV<sub>200</sub>. На рисунке также хорошо видна структура основного металла, которая представляет собой вытянутые в доль прокатки феррито-перлитные зерна, его микротвердость составляет 145 – 155HV<sub>200</sub>.

На рисунке 2 (а) и б представлены микроструктуры металла швов, полученных двумя видами сварки. Заполнение разделки кромок при дуговой сварке осуществлялось с двух сторон за несколько проходов, поэтому металл нижних слоев шва испытал многократное тепловое воздействие, в связи с чем в структуре не наблюдается явного направленного характера кристаллитов обусловленное отводом теплоты в основной металл. Зерна металла шва оторочены сплошной ферритной сеткой, выделившейся во время распада аустенита. Микроструктура металла шва, полученного ЭЛС, имеет плотное дендритное строение, обусловленное большими скоростями охлаждения.

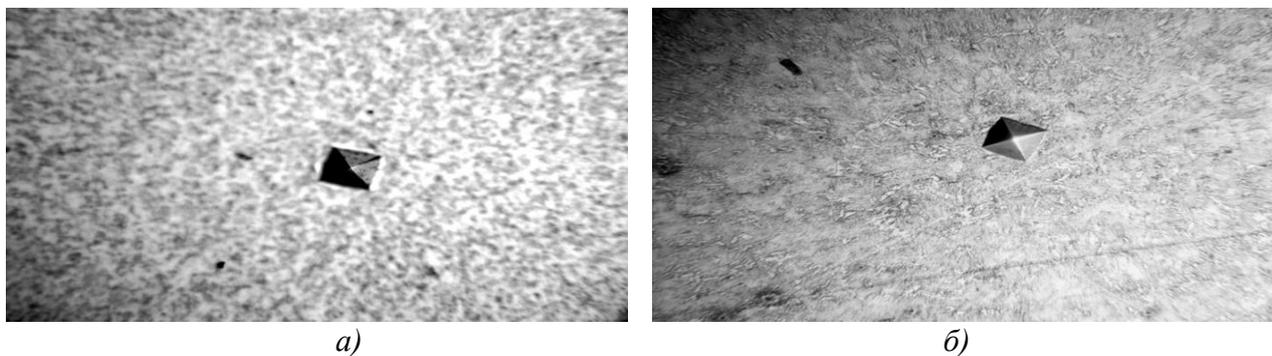


Рисунок 2 – Микроструктуры металла швов сварных соединений:  
*а* – полученного дуговой сваркой; *б* – электронно – лучевой сваркой

Уместно отметить, что при ЭЛС превращения в металле шва протекают в менее равновесных условиях, чем при других способах сварки. Однако вызванная этим опасность образования дефектов, например, холодных трещин, компенсируется тем, что размеры ЗТВ и зоны проплавления малы. Развивающиеся усадочные напряжения невелики и образующиеся неравновесные структуры находятся в слабонагруженном состоянии. Например, электронным лучом можно сваривать без подогрева низколегированные стали, несмотря на то, что в шве и ЗТВ образуется мартенсит [2].

Таким образом, анализ проведенных исследований показал, что применение ЭЛС стали 09Г2С толщиной 16 мм не привело к образованию закалочных структур в ЗТВ. Самое высокое значение микротвердости в зоне сплавления характерно для структур пластинчатого перлита или сорбита. Поэтому применение ЭЛС ободьев из стали 09Г2С является весьма перспективным направлением в технологии их изготовления, что приведет к повышению качества и конкурентоспособности продукции.

#### Список использованных источников

- 1.Лабораторный практикум по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студ. вузов / Н.А. Свидуневич, Г.П. Окатова, Д.В. Куис. – Минск: БГТУ, 2014. – 126 с.
- 2.Атлас структур сварных соединений. Хорн Ф. пер. с нем. М., «Металлургия» 1997. –288с.