

УДК 621.791.01

Гедрович А. И., Ткаченко С. А.

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ УЗЛОВ ВАГОНОСТРОЕНИЯ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ**

В настоящее время на железных дорогах Украины эксплуатируется около 3000 вагонов электропоездов и 940 вагонов дизель-поездов. Из них выработали моторесурс и подлежат списанию 43 % вагонов электропоездов и 47 % вагонов дизель-поездов [1]. Из-за технического состояния дальнейшая их эксплуатация экономически не целесообразна и не безопасна. Проблема усложняется тем, что в Украине отсутствовало собственное производство мотор-вагонного подвижного состава, а для приобретения его за рубежом необходимы значительные валютные средства. В сложившейся ситуации Кабинет Министров Украины определил главным разработчиком и производителем пассажирского подвижного состава для пригородного сообщения ОАО «ХК «Лугансктепловоз».

Постановлениями правительства от 04.06.94 г. № 364 и от 02.06.98 г. № 769 были определены следующие основные задачи:

- удовлетворение потребности населения Украины в пассажирских перевозках с обеспечением высокого уровня комфортности и безопасности;
- создание конкурентоспособного подвижного состава, а также реконструкция и техническое перевооружение мощностей для его изготовления отечественными производителями, уменьшение импортной зависимости от поставок железнодорожного транспорта из стран СНГ и Западной Европы.

В соответствии с поставленной задачей был проведен комплекс научно-исследовательских работ в области разработки конструкции и технологии изготовления унифицированного пассажирского вагона для пригородных перевозок. Согласно проведенной работе принято решение об использовании современных достижений металловедения – применении высокопрочных и коррозионно-стойких сталей, как в виде отдельных элементов, так и в виде сварных соединений, в том числе разнородных и однородных.

Непрерывное совершенствование существующих и разработка новых более прогрессивных технологических процессов, повышение долговечности и экономичности материалов, применяемых в машиностроении, определяют необходимость эксплуатации изделий в различных климатических условиях, а также при других специфических требованиях, предъявляемых к изделиям.

В современных условиях необходимы повышенные скорости передвижения корпусов вагонов, которые испытывают большие статические, динамические и вибрационные нагрузки. Эксплуатация подвижного состава осуществляется в различных климатических условиях от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в различной воздушной среде, в которой возможны различные виды коррозии; общая и местная, химическая и электрохимическая.

Эти обстоятельства требуют улучшения товарного вида вагонов, уменьшение веса для снижения нагрузки на отдельные элементы корпуса, повышения коррозионной стойкости в атмосфере при сухой и мокрой коррозии и повышение надежности экипажа в целом.

Решить поставленные задачи возможно за счет применения специальных сталей, имеющих повышенные прочностные свойства и другие отличительные преимущества, по сравнению с применяемыми в настоящее время. К таким материалам относятся стали аустенитного и феррито-перлитного классов.

Большинство существующих нержавеющей сталей содержат значительное количество дефицитного никеля (8–20 %), который является достаточно дорогим. Поэтому, большое значение приобретает использование для сварных металлоконструкций нержавеющей сталей с пониженным содержанием никеля, в том числе легированных марганцем и азотом. Причем легирование нержавеющей аустенитных сталей марганцем целесообразно не, только из условий экономии никеля, но и для повышения прочностных свойств сварных изделий.

Кроме того, с целью повышения прочностных характеристик изготавливаемых вагонов, целесообразно использовать в качестве сварного соединения разнородные стали, относящиеся к разным классам, например, аустенитные с перлитными [1].

Немаловажное значение имеет повышение качества изготавливаемых вагонов, в связи, с чем необходимы новые подходы к разработке технологии сварки деталей, узлов и мотор-вагонного подвижного состава в целом.

Для выполнения поставленной задачи по созданию надежного конкурентоспособного подвижного состава, специалистами ОАО «ХК «Лугансктепловоз»» было принято решение о создании кузовов вагонов с использованием разнородных (10X13Г18Д + 09Г2С) и однородных (10X13Г18Д + 10X13Г18Д) сталей [1].

До последнего времени отсутствуют научные рекомендации по выбору режимов и способа соединений из аустенитной марганцовистой стали 10X13Г18Д + 10X13Г18Д, а тем более разнородных композиций с участием марганцовистой стали 10X13Г18Д + Ст20, 10X13Г18Д + 09Г2С и других разнородных сталей которые бы гарантировали хорошее качество сварных швов, отсутствие нежелательных структурных превращений в металле шва и зоне термического влияния (ЗТВ), технологическую прочность, стойкость против межкристаллитной коррозии (МКК), работоспособность сварных соединений в условиях интенсивных вибрационных нагрузок, кроме того важным является формирование остаточных сварочных напряжений и деформаций в пределах допусков на изготовление продукции.

В связи с этим применение соединений из этих сталей (10X13Г18Д + 09Г2С) и (10X13Г18Д + 10X13Г18Д) ограничено. Сварка данных сталей имеет свои особенности, вызванные необходимостью получения сварных соединений, способных работать в особых условиях. Трудности при сварке разнородных сталей состоят в получении равнопрочных сварных соединений, в обеспечении технологической прочности при сварке, предупреждении образования трещин в ЗТВ сварного соединения, сварочных напряжений и деформаций изделий [4, 5].

В связи с этим, исследование и разработка технологии сварки разнородных 10X13Г18Д+09Г2С и однородных 10X13Г18Д+10X13Г18Д для изготовления дизель- и электропоездов является актуальным.

Целью работы является повышение качества сварных узлов вагоностроения из разнородных сталей, оптимизация технологии сварки на основе исследования фазоструктурных и термомодеформационных процессов.

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие задачи:

1. Из анализа публикаций в научных изданиях определены основные факторы, влияющие на качество сварных узлов из разнородных сталей аустенитного и перлитного классов.
2. Проведены исследования по подбору сварочных материалов.
3. Определен химический состав и механические свойства сварных соединений из разнородных сталей.
4. Исследованы особенности фазоструктурных и термомодеформационных процессов в сварном соединении однородных (Ст10X13Г18Д+10X13Г18Д) и разнородных сталей (Ст10X13Г18Д + 09Г2С).

5. Оценены влияния различных способов сварки на качество сварного соединения.

6. Проведены исследования натуральных образцов на усталостную прочность, распределение микротвёрдости в сварном соединении.

7. Исследованы основные закономерности образования остаточных напряжений и деформаций при сварки узлов вагоностроения.

8. Оптимизированы технологические процессы и режимы сварки узлов из однородных и разнородных сталей корпуса вагона.

9. Разработаны проекты сварочных установок для сварки узлов вагонов из разнородных и однородных сталей.

10. Проведена апробация полученных результатов на натуральных образцах.

Исходя из поставленных целей, для решения определенного комплекса задач, направленных на повышение качества сварных соединений из разнородных сталей 10X13Г18Д + 09Г2С (обшивки кузова вагона с элементами каркаса кузова вагона), был проведен ряд экспериментальных исследований на натуральных образцах, а именно:

– определение микроструктуры металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) нахлесточного сварного соединения 10X13Г18Д + 09Г2С;

– проведение прочностных механических испытаний на разрыв стыкового и нахлесточного сварного соединения 10X13Г18Д + 09Г2С;

– испытания на пластичность сварного соединения из сталей аустенитного и феррито-перлитного классов;

– выполнение эксперимента по распределению микротвёрдости в стыковом и нахлесточном сварном соединении из разнородных сталей.

– исследования на усталостную прочность сварного соединения элемента каркаса кузова, главной рамы из стали 09Г2С  $\delta = 7$  мм с элементом обшивки кузова вагона из стали 10X13Г18Д  $\delta = 1,5$  мм;

– проведение исследования на предмет влияния количества погонной энергии на величину остаточных напряжений и деформаций.

Исследования производились после проведения различных способов сварки: полуавтоматическая в среде  $\text{CO}_2$ , Ar и в смеси Ar+ $\text{CO}_2$  (82 % + 18 %) плавящимся и неплавящимся электродами (сварочная проволока Св-08Х20Н9Г7Т, Св-02Х18Н8Г7С и др.). Так же использовались автоматическая и полуавтоматическая сварка с применением процесса холодного переноса металла (СМТ), полуавтоматическая сварка вольфрамовым плавящимся электродом в защитных газах плюс дополнительный технологический валик вольфрамовым электродом в среде Ar.

Для предварительного подбора сварочного материала (проволоки, электродов) с учетом необходимого легирования металла шва. получения требуемой его структуры и соответственно физико-механических свойств соединений удобно проводить с использованием структурной диаграммы Шеффлера [2, 3]. Так при расчете, при помощи диаграммы Шеффлера нескольких видов сварочных проволок, которые подходят по своей химической структуре для получения аустенитного сварного шва, что удовлетворяет требованиям, изложенным в литературных источниках. В сварном соединении из сталей 10X13Г18Д + 09Г2С, наиболее оптимальной сварочной проволокой принята проволока Св-08Х20Н9Г7Т при сварке, которой получается аустенито-ферритная структура сварного шва, с содержанием ферритной фазы не более 5 % [2].

В качестве оптимальной защитной среды при сварке аустенитной и ферритоперлитной стали (Ст10X13Г18Д + 09Г2С) на основании проделанной исследовательской работы в области распределения микротвердости в сварном соединении (рис. 1) , была принята, сварка в смеси Ar (82 %) +  $\text{CO}_2$  (18 %).

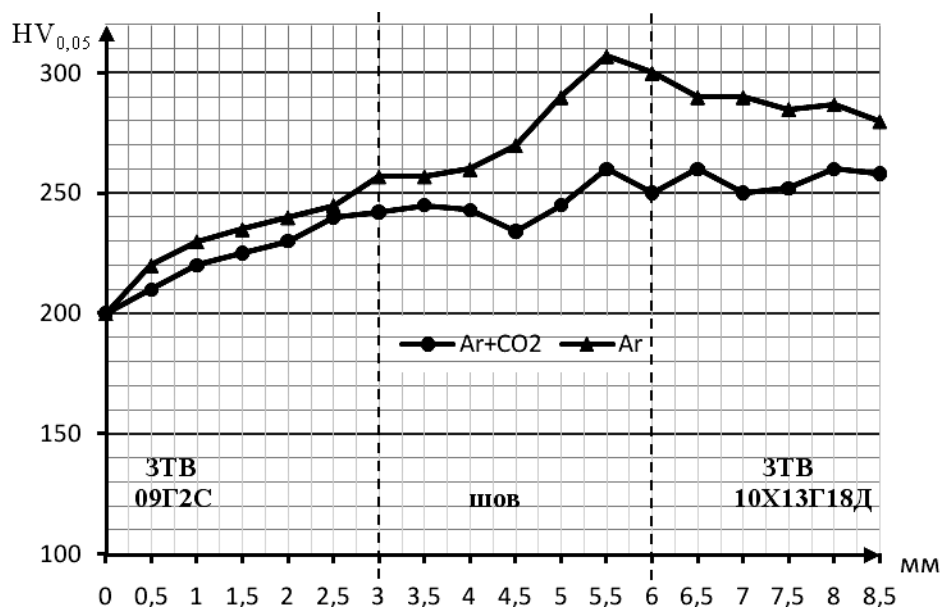


Рис. 1. Распределение микротвердости в ЗТВ и сварных швах сварного соединения, выполненного при сварке разнородных сталей 10X13Г18Д + 09Г2С в среде Ar и Ar + CO<sub>2</sub> сварочной проволокой Св-08Х20Н9Г7С

Как видно из данного графика, сварное соединение, сваренное в защитной среде, состоящей из смеси Ar + CO<sub>2</sub>, имеет более равномерное распределение микротвердости по сравнению со сварным соединением, сваренным в среде Ar. Тем самым за счет применения защитной среды в качестве смеси Ar + CO<sub>2</sub> достигается снижение вероятности такого негативного фактора, как трещина в виде скола. А так же увеличивается способность сварного соединения из разнородных сталей противостоять знакопеременным динамическим нагрузкам, действующим разрушительно в процессе эксплуатации вагона дизель- и электропоезда [4].

Логическим продолжением проведенной исследовательской работы был определен поиск технологических методов позволяющих, устранить или свести к минимуму ряд негативных факторов, отрицательно влияющих на качество сварных соединений из разнородных сталей.

Исследование механических свойств однородных и разнородных соединений, микроструктуры металла шва и ЗТВ производилось после проведения сварки различными технологическими способами (табл. 1). В ходе проведения эксперимента было выявлено, что в зоне сплавления (ЗС) сварных соединений холоднодеформированных листов из стали 10X13Г18Д, выполненных механизированной сваркой в Ar + CO<sub>2</sub> аустенитной проволокой Св-08Х20Н9Г7Т, наблюдается образование α-мартенсита в количестве 1...2 об. %. Его появлению способствуют значительные остаточные напряжения растяжения в зоне сварки, возникающие под воздействием сварочного термомодеформационного цикла [4].

Так же при сварке 10X13Г18Д + 09Г2С возникают трудности, связанные с обеспечением необходимых свойств и оптимальной структуры металла шва и ЗТВ высоколегированной коррозионно-стойкой аустенитной стали. Обычно она склонна к образованию трещин в ЗТВ, появлению после сварочного нагрева в высокотемпературной зоне б-феррита, α-фазы (мартенсита), σ-фазы, выделению карбидов из аустенита и ухудшению, в этих местах, стойкости против межкристаллитной коррозии (МКК), высоких временных напряжений и деформаций [4].

Следствием структурных превращений при сварке являются одновременно пониженные прочностные и пластические свойства металла в ЗС. Так, угол загиба сварных соединений не превышает 90...100 °, а место разрушения разрывных образцов приходится на ЗС [6].

Таблиця 1

Сравнительные данные, полученные при проведении ряда исследований в области воздействия различных технологических методов и режимов сварки, влияющих на качество нахлесточного сварного соединения 10X13Г18Д + 09Г2С при выполнении экспериментальных однопроходных соединений

№	Вид Св. соединения, технология сварки (режимы сварки)	Испытание на разрыв сред. $R_y^{св}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Величина погонной энергии $Q_{св}$ , Дж/см	Кол-во циклов до разрушения образцов
1	П.автм. Ag + CO <sub>2</sub> пров. Св-08X20Н9Г7Т Ø 1,2 мм (I <sub>св</sub> = 110–120 А; Уд = 20–21 В; V <sub>св</sub> = 16–18 м/ч)	1726 ЗС со стороны 10X13Г18Д	3350	0,95 × 10 <sup>7</sup> по ЗТВ со стороны 10X13Г18Д
2	Нахлесточное, то же (см. поз. № 1) + технологический валик неплавящимся электродом в среде Ag по линии сплавления металла шва со сталью 10X13Г18Д с лицевой стороны соединения (I <sub>св</sub> = 60–65 А; Уд = 10–12 В; V <sub>св</sub> = 17–18 м/ч)	1802 Основной металл 09Г2С	–	1,45 × 10 <sup>7</sup> по ЗТВ со стороны 10X13Г18Д
3	Нахлесточное, автоматическая «холодная» сварка (СМТ-процесс [7]) в Ag + CO <sub>2</sub> на полуавтомате TPS 3200 СМТ фирмы «Фрониус» (I <sub>св</sub> = 106 А; Уд = 15,9 В; V <sub>св</sub> = 38,2 м/ч; V <sub>пэ</sub> = 3,2 м/мин)	1863 Основной металл 10X13Г18Д вдали от ЗТВ	1105	Более 1,5 × 10 <sup>7</sup>

### ВЫВОДЫ

Установлено, что реакция сталей 10X13Г18Д и 09Г2С на тепловое воздействие различна, что соответствует структурным составляющим, скоростям нагрева и охлаждения.

Доказано, что для эксплуатации узлов вагоностроения в атмосфере с возможностью развития общей и локальной коррозии необходимо получать чисто аустенитный шов, особенно расположенный с наружной стороны.

Установлено, что все сварные швы кузова вагона можно выполнять проволокой одного химического состава (Св-08X20Н9Г7Т) с получением аустенитной структуры, что дает возможность оптимизировать технологию сварки.

Механические свойства сварных соединений, твердость и микротвердость зависят от присадочной проволоки и защитного газа при электродуговой сварке.

Установлено, что наиболее высокие прочностные показатели (предел прочности, твердость) и необходимую аустенитную структуру металла шва с бездефектными ЗТВ получены при использовании проволоки Св-08X20Н9Г7Т, а также технологии с применением процесса СМТ при сварке разнородной пары 10X13Г18Д + 09Г2С.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Березницкий В. А. Использование нержавеющей и низколегированных сталей для вагонов дизель-и электропоездов максимальной вместимости / В. А. Березницкий, Н. И. Сергиенко, В. П. Щербаков // Сборник научных трудов по проблемам внедрения и освоения производства в Украине мотор-вагонного подвижного состава на базе унифицированного прицепного вагона. – Луганск : Машиностроение, 2003. – С. 85–87.
2. Гедрович А. И. Выбор проволоки для дуговой механизированной сварки однородных и разнородных соединений стали 10X13Г18Д / А. И. Гедрович, С. А. Ткаченко, А. В. Каленская // Автоматическая сварка. – 2008. – № 1. – С. 37–39.
3. Закс И. А. Сварка разнородных сталей / И. А. Закс. – Л. : Машиностроение, 1973. – 208 с.
4. Гедрович А. И. Особенности формирования структуры и свойств зоны сплавления стали 10X13Г18Д / А. И. Гедрович, А. Н. Ткаченко, С. А. Ткаченко, А. Т. Зельниченко, И. И. Алексеенко, В. Л. Бондаренко // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4 (648). – С. 23–27.
5. Гедрович А. И. Структура и свойства соединения сталей 10X13Г18Д+09Г2С / А. И. Гедрович, А. Н. Ткаченко, С. А. Ткаченко // Автоматическая сварка. – 2006. – № 12 (644). – С. 44–47.
6. Оптимизация положения сварочной горелки при выполнении нахлесточного соединения на вертикальной плоскости / А. И. Гедрович, С. А. Ткаченко, А. Н. Ткаченко, И. А. Гальцов // Сварщик. – № 2 (66). – 2009. – С. 11–12.
7. Химмельбауер К. Процесс СМТ – революция в сварочных технологиях / К. Химмельбауер // Сварщик. – 2010. – № 2. – С. 26–30.