



ПРОЕКТ СВАРНОЙ НАДРЕССОРНОЙ БАЛКИ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **Э. Ф. ГАРФ**, д-р техн. наук, **С. Т. РИМСКИЙ**, **В. И. ГАЛИНИЧ**,
О. В. МАХНЕНКО, **П. С. ЮХИМЕЦ**, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. М. БУБНОВ, д-р техн. наук, **Е. К. ТУСИКОВ**, инж. (ОАО «Азовмаш»),
П. А. ВАРЕНЧУК, инж. (НИЦ «Патон-Азовмаш»)

Рассмотрена возможность создания сварной наддрессорной балки тележек грузовых вагонов как альтернатива традиционной литой. Показано, что создание сварной конструкции, для которой определяющей является циклическая нагрузка, требует комплексного подхода, базирующегося на разработке оптимальных конструктивных решений узлов и технологии изготовления.

Ключевые слова: сварка, сварные соединения, наддрессорная балка, долговечность, напряженно-деформированное состояние, концентрация напряжений, защитные окислительные газы, режимы сварки, погонная энергия, механические свойства, микроструктура, неметаллические включения, игольчатый феррит

В настоящее время в странах СНГ в тележках грузовых вагонов используются наддрессорные балки из стального литья. Производство литых балок характеризуется высокой степенью вероятности образования внутренних дефектов, а следовательно, нестабильностью показателей прочности, особенно при циклическом нагружении. До последнего времени в Украине отсутствовало собственное производство наддрессорных балок несмотря на значительный объем производства в стране подвижного грузового состава, для оснащения которого наддрессорные балки закупали за рубежом. В этой связи на предприятии «Азовмаш» была предпринята попытка создать наддрессорную балку в сварном исполнении.

Создание наддрессорных балок новых конструкций для подвижного состава железных дорог регламентируется соответствующими нормами [1], предусматривающими определенный объем и порядок проведения испытаний. При создании сварных изделий особое внимание следует уделять сопротивлению циклическим нагружениям, которое является фактором, определяющим массу, а следовательно, и экономические показатели балки. С позиций циклического нагружения регламентом предусмотрено два этапа испытаний: проведение сокращенных ускоренных испытаний на усталость, а при положительных результатах — полных испытаний на усталость.

На стадии разработки новой конструкции наддрессорной балки используются ускоренные испытания на изгиб с переменной нагрузкой за цикл $P_{\max} = 800$ кН и $P_{\min} = 100$ кН.

Допускаемая циклическая долговечность наддрессорной балки $[N]$ принимается равной $1 \cdot 10^6$ циклов, т. е. при ускоренных испытаниях на усталостную долговечность до образования макротрещины длиной 10...50 мм она должна превысить 1 млн циклов нагружения.

Вариант сварной конструкции наддрессорной балки из низколегированной стали марки 09Г2С разработан Главным специализированным конструкторским бюро вагоностроения (ГСКБВ) ОАО «Азовмаш» (рис. 1).

Анализ напряженно-деформированного состояния балки, выполненный с использованием метода конечных элементов, выявил наличие локальных зон с повышенным уровнем напряжений (рис. 2). Как видно из рисунка, эти зоны расположены преимущественно в местах перегибов нижнего пояса у края балки. С целью снижения уровня напряжений в этих местах стенку у балки усиливали с помощью дополнительной накладки. В целом наддрессорная балка имела ряд конструктивно-технологических недостатков, вследствие которых создавалась высокая концентрация напряжений и снижалось ее сопротивление усталости. К ним в первую очередь следует отнести наличие накладок, ребер, технологических подкладных элементов и пр.

Ускоренные циклические испытания наддрессорных балок, изготовленных по данному проекту, проводил испытательный центр «Азовмаш-тест». Зарождение первой макротрещины зафиксировали при $N = 443000$ цикл нагружения. Трещина образовалась в окончании ребра, приваренного к нижнему поясу. При дальнейших испытаниях очагами зарождения новых трещин стали места окончания ребер и накладок. Всего в процессе испытаний выявили семь очагов зарождения усталостных трещин. Наддрессорная балка разрушилась при $N = 735000$ цикл нагружения.

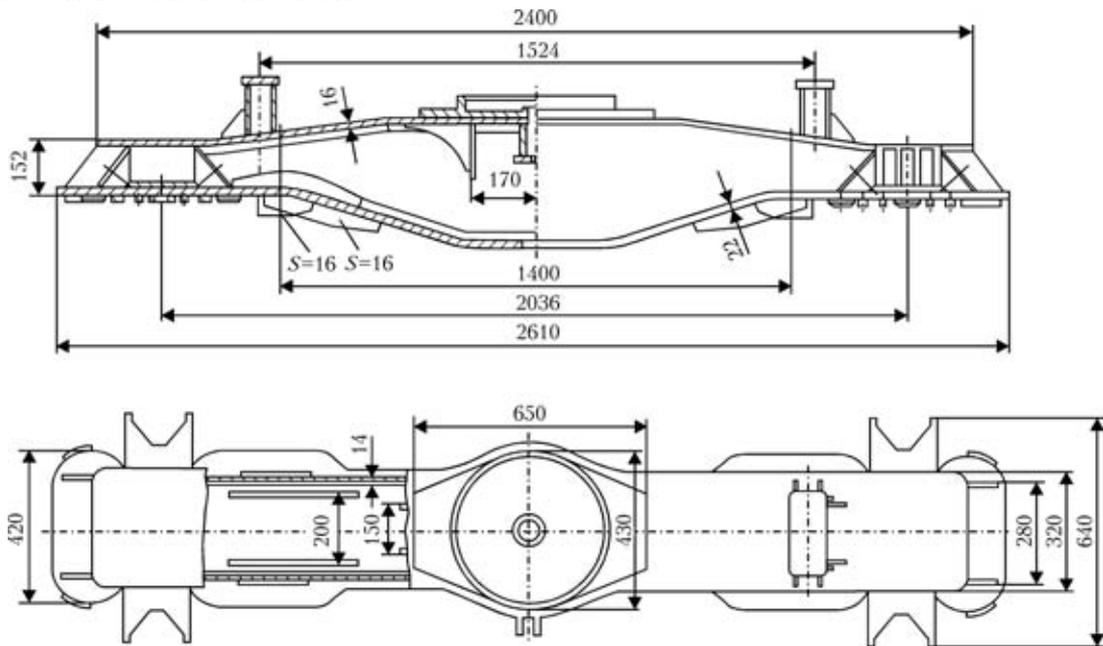


Рис. 1. Исходный вариант сварной конструкции надрессорной балки тележек грузовых вагонов (S — толщина ребра)

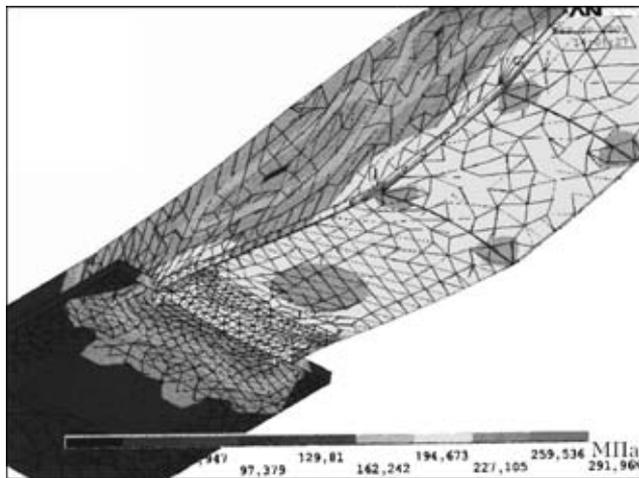


Рис. 2. Распределение напряжений в надрессорной балке, полученное методом конечных элементов

Исходя из конструктивных решений сварных узлов балки, а также фактической долговечности до зарождения усталостных макротрещин, с помощью расчета определили уровень циклических напряжений, соответствующих этой долговечности.

Учитывая, что при расчетах на усталость преимущественно используют номинальные напряжения, на рис. 3 приведены эпюры изгибающих моментов и соответственно напряжений в нижнем (растянутом) и верхнем (сжатом) поясах надрессорной балки. На эпюрах напряжений в скобках приведены значения максимальных напряжений σ_{\max} , учитывающих коэффициент асимметрии цикла, без скобок — размахи циклических напряжений $2\sigma_a$.

Результаты расчета на выносливость балки, выполненного согласно [2], показали, что в данной конструкции надрессорной балки максималь-

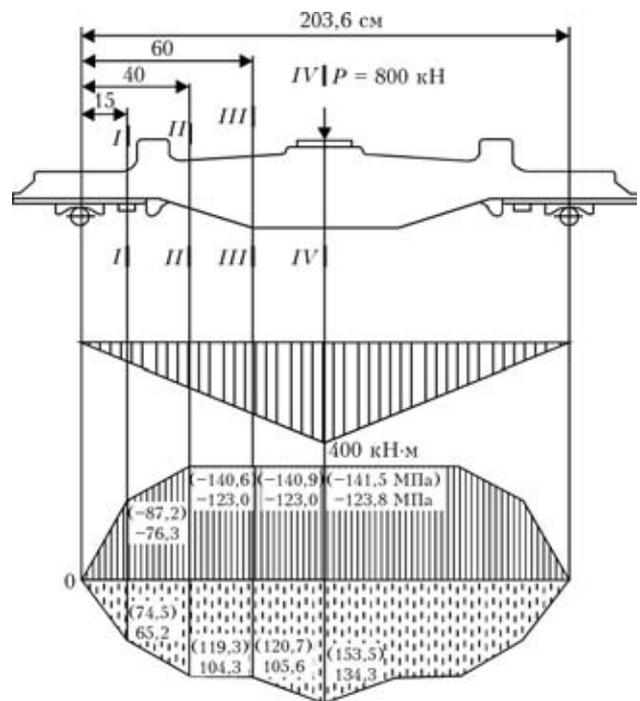


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений на наружной поверхности надрессорной балки: I–IV — сечения участков балки (остальные объяснения см. в тексте)

ные напряжения σ_{\max} на базе $1 \cdot 10^6$ циклов нагружения равны 110,1 МПа, а на базе 443000 циклов нагружения (что соответствует зарождению усталостной трещины) — 130,3 МПа. Поскольку расчет заведомо должен обеспечить определенный уровень запаса прочности конструкции, можно констатировать, что в данном примере корректность методики расчета [2] подлежит сомнению, так как в зоне циклического разрушения значения фактических напряжений не превышали 121 МПа.



В этой связи расчет на усталость данной конструкции наддресорной балки был выполнен также по другим методикам, используемым в машиностроении и строительстве, в частности, по методике, разработанной в Институте машиноведения РАН и Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины [3–5]. Полученные результаты показали, что для рассматриваемой конструкции наддресорной балки долговечность при $N = 1 \cdot 10^6$ цикл нагружения обеспечивается в случае, если значения напряжений не превышают 71,1 МПа, а при $N = 4,43 \cdot 10^5$ цикл нагружения напряжение составляет 92,0 МПа. Использование рекомендаций МИС [6] при расчете на усталость дает следующий результат: при $N = 1 \cdot 10^6$ цикл $\sigma_{\max} = 71,7$ МПа, а при $N = 443000$ цикл $\sigma_{\max} = 94$ МПа. Как видно, результаты, полученные по двум последним методикам, весьма близки и с учетом различия между расчетными и предельными напряжениями для заданной долговечности балки согласуются с результатами испытаний. Следовательно, при разработке конструкции наддресорной балки рекомендуется использовать именно эти методики. Кроме того, результаты испытаний показали, что появление усталостных трещин наблюдали в зоне сечений наддресорной балки II–II и III–III (см. рис. 3), где уровень растягивающих циклических напряжений существенно ниже, чем в сечении IV–IV. Это еще раз доказывает, что уровень напряжений является не единственным фактором, влияющим на сопротивление усталости. Конструктивные решения могут оказывать не меньшее влияние на долговечность изделия. Поэтому при создании сварной наддресорной балки с экономически оправданными показателями и имеющей необходимый уровень надежности прежде всего следует стремиться использовать конструктивные решения, при кото-

рых достигается высокое сопротивление усталости. Для решения этой задачи необходимо предпринять следующее:

максимально упростить конструкцию балки, отказавшись от дополнительных элементов, уменьшить сечение сварных швов и объем наплавленного металла;

снизить концентрацию напряжений в конструкции балки, при этом особое внимание обратить на элементы и узлы с высоким уровнем растягивающих напряжений. В связи с этим следует исключить ребра и накладки, а стыковые и угловые швы выполнять с полным проплавлением. В стыковых соединениях растянутых элементов целесообразно снять усиление сварных швов, отказаться от применения подкладок, обеспечив с помощью специальных технологических приемов полное проплавление и обратное формирование швов. Угловые швы в растянутой зоне балки должны иметь вогнутую форму. Необходимо исключить подрезы в поперечных растянутых стыках;

для наиболее нагруженных стыковых сварных соединений следует предусмотреть 100%-й неразрушающий контроль качества физическими методами;

максимальные растягивающие напряжения в зоне сварных соединений балки от расчетной нагрузки не должны превышать расчетные сопротивления циклическому нагружению на базе $N = 1 \cdot 10^6$ цикл нагружения. При этом оценку сопротивления усталости следует выполнять с применением традиционных методик.

Изложенные выше положения в значительной степени воплощены в проекте 1690.00.010-6СБ, разработанном ГСКБВ ОАО «Азовмаш» (рис. 4).

Распределение напряжений в растянутом и сжатом поясах наддресорной балки показаны на

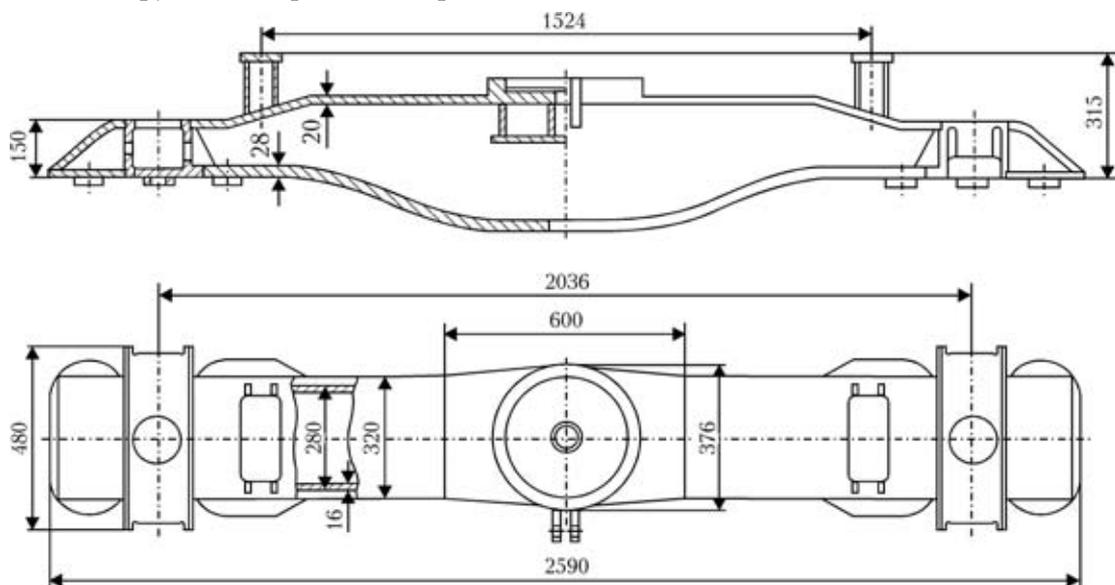


Рис. 4. Рекомендуемый вариант сварной конструкции наддресорных балок тележек грузовых вагонов

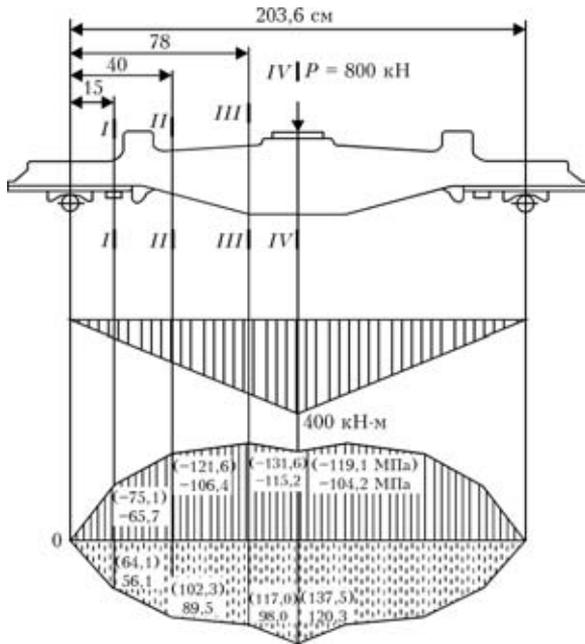


Рис. 5. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений на наружной поверхности надрессорной балки рекомендуемого варианта

рис. 5. За счет увеличения сечения поясов и стенок балки размахи напряжений и максимальные напряжения цикла снижены на 7...15 %. Вместе с тем, расчетные сопротивления существенно повышены за счет совершенствования конструкции надрессорной балки. Характерными сварными соединениями в данном случае являются стыковые соединения поясов и соединения поясов с ребрами. Для этих типов соединений по методикам Института машиноведения РАН и ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины максимальные значения напряжений на базе $N = 1 \cdot 10^6$ цикл нагружения составляют соответственно 153 и 288 МПа (по рекомендациям МИС соответственно 143 и 180 МПа). Как видим, указанные значения напряжений выше тех, которые имеют место в сварной надрессорной балке, а следовательно, гарантируют требуемый уровень долговечности.

Вместе с тем, реализация разработанной конструкции балки на практике возможна только при высоком технологическом уровне изготовления, и прежде всего сборочно-сварочных работ. В этой связи особое внимание уделили разработке технологии сварки надрессорных балок.

Выбор технологического процесса сварки осуществляли исходя из следующих положений: подвижный железнодорожный состав эксплуатируется в широком диапазоне температур, динамических нагрузок и других неблагоприятных факторов; оптимальное сочетание показателей механических свойств металла сварного шва определяется его микроструктурой [7, 8]. Последняя в значительной степени зависит от химического состава металла, а также таких технологических

факторов, как термический и деформационный циклы сварки, форма разделки, тип сварного соединения и др.

Известно, что одним из возможных путей совершенствования процесса сварки стали плавящимся электродом в защитных газах (наряду с такими эффективными решениями, как применение сварки порошковыми и активированными проволоками, а также источников питания и сварочной аппаратуры с характеристиками, которые обеспечивают управление плавлением и переносом электродного металла) является использование смесей защитных газов вместо углекислого газа. Варьируя состав газовой среды, можно успешно решать многие технологические задачи. Наиболее перспективной, с точки зрения сочетания высоких сварочно-технологических и экономических показателей, является смесь аргона с окислительными защитными газами (O_2 , CO_2) [6, 8–10].

При разработке технологии и техники сварки надрессорной балки установлено, что оптимальной исходя из требований к защитному газу является смесь $Ar + 25\% CO_2$. Особенно ярко технологические преимущества этой смеси проявляются в диапазоне режимов сварки, обеспечивающих мелкокапельный перенос электродного металла. Поверхность швов при этом получается мелкочешуйчатой и напоминает поверхность швов, выполненных под флюсом. Разбрызгивание и набрызгивание электродного металла происходило в 3...4 раза меньше, чем при сварке в углекислом газе.

При сварке низколегированных конструкционных сталей в окислительных защитных газах (CO_2 и смеси $Ar + CO_2$) обычно используют электродные проволоки Св-08Г2С и Св-08ГС, легированные кремнием и марганцем (по ГОСТ 2246–70). Однако несмотря на то, что их применение разрешено многими нормативными документами, металл швов, выполненных с использованием указанных проволок, не всегда имеет требуемые показатели ударной вязкости при отрицательных температурах, а также необходимый уровень трещиностойкости [9]. В связи с этим следует определить условия сварки надрессорной балки, при которых использование серийных сварочных проволок будет обеспечивать требуемый уровень хладостойкости швов.

Хладостойкость металла швов, выполненных на низколегированной стали 09Г2С (по ГОСТ 5520–78), оценивали по температуре перехода в хрупкое состояние, соответствующей уровню ударной вязкости 47 Дж/см^2 на образцах с острым надрезом (типа XI по ГОСТ 6996–66). Образцы вырезали из верхней части сварных стыковых соединений; надрез наносили в поперечном сечении шва от корня к вершине.



Таблица 1. Химический состав используемых сварочных материалов и металла швов, мас. %

Объект анализа	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	[O]	[N]	[H]
Основной металл — сталь 09Г2С толщиной 20 мм	0,091	0,67	1,61	0,024	0,021	0,05	0,05	0,05	—	—	—
Электродная проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм	0,12	0,90	2,06	0,020	0,019	0,09	0,04	0,020	—	—	—
Металл шва при сварке:											
в CO ₂	0,095	0,50	1,40	0,022	0,020	0,08	0,04	0,035	0,067	0,011	0,00013
в смеси Ar + 25 % CO ₂	0,084	0,58	1,45	0,024	0,021	0,11	0,06	0,050	0,032	0,010	0,00016

Таблица 2. Механические свойства металла швов, выполненных сваркой на стали 09Г2С с применением проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм

Защитный газ	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ_5 , %	ψ , %
CO ₂	397...469	535...600	26,3...30,2	60,5...68,0
	430	577	27,2	67,0
Ar + 25 % CO ₂	473...485	590...630	27,0...29,5	59,9...63,2
	480	610	28,4	62,8

Примечание. В знаменателе приведены средние значения по результатам испытаний трех-пяти образцов.

Сварку выполняли в V-образную разделку кромок электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в углекислом газе и смеси Ar + 25 % CO₂ на следующем режиме: $I_{св} = 280...300$ А; $U_{д} = 28...30$ В; расход защитного газа 16...18 л/мин; вылет электрода $l_3 = 18...20$ мм. Скорость сварки изменяли в пределах от 15 до 50 см/мин, что соответствовало погонной энергии 10...35 кДж/см.

Химический состав металла швов приведен в табл. 1, а показатели механических свойств — в табл. 2.

Изменения значений ударной вязкости при различной температуре испытания в зависимости от условий сварки показаны на рис. 6–8. Полученные данные позволяют оценить условия, при которых наиболее четко проявляются тенденции к повышению хладостойкости металла швов.

Во-первых, существенную роль в обеспечении высоких показателей хладостойкости металла швов играет состав защитной газовой среды. При сварке в смеси Ar + CO₂ температура перехода в хрупкое состояние на 20...30 °С ниже, чем при сварке в углекислом газе (рис. 6–8). Такое улучшение показателей хладостойкости обусловлено более низким содержанием кислорода (табл. 1), что в свою очередь приводит к уменьшению объемной доли неметаллических включений в металле швов и более равномерному распределению мелкодисперсных включений [8, 10, 11], являющихся местами зарождения и эпитаксиального роста феррита при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении вследствие охлаждения металла в интервале температур 800...500 °С и формирования в нем конечной структуры игольчатого феррита [12].

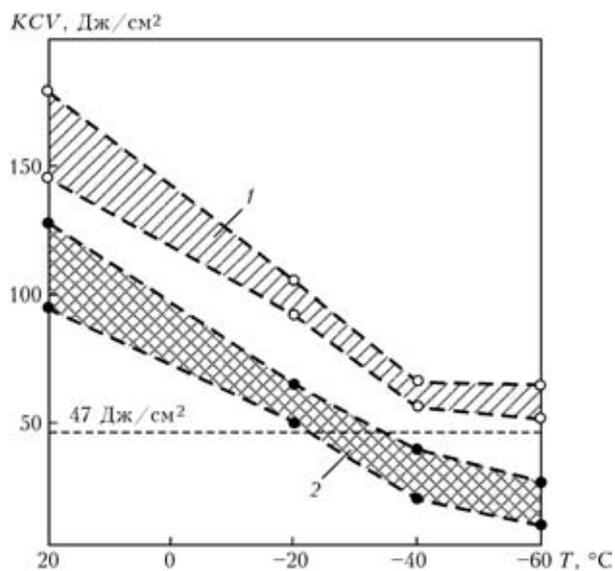


Рис. 6. Температурная зависимость ударной вязкости KCV металла швов, выполненных сваркой в смеси газов Ar + 25 % CO₂ (1) и углекислом газе (2) на стали 09Г2С при погонной энергии 19 кДж/см

Во-вторых, весьма действенным путем, обеспечивающим возможность повышения ударной вязкости металла швов, является снижение погонной энергии процесса сварки, что может быть достигнуто путем повышения скорости сварки при

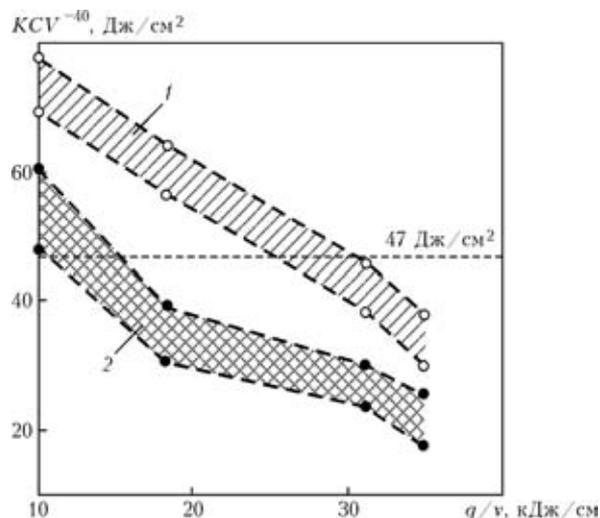


Рис. 7. Влияние погонной энергии сварки стали 09Г2С на ударную вязкость металла швов, выполненных сваркой в смеси газов Ar + 25 % CO₂ (1) и углекислом газе (2)

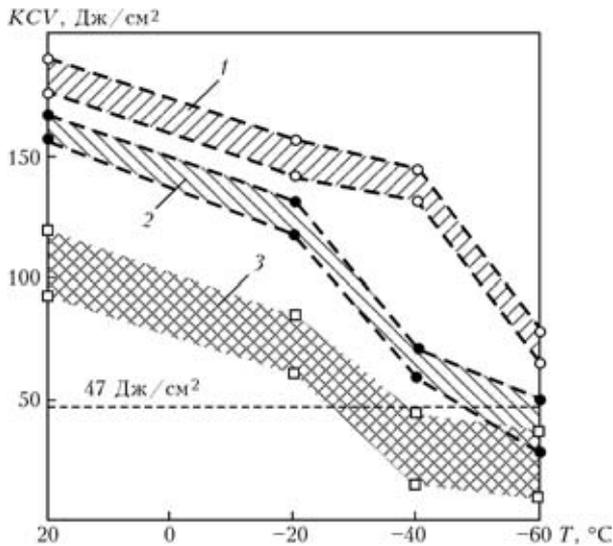


Рис. 8. Температурная зависимость ударной вязкости металла швов, выполненных на стали 09Г2С с использованием проволоки Св-08Г2С с различным содержанием серы: 1, 2 — 0,011; 3 — 0,022 мас. % S; ○ — сварка в смеси газов Ag + 25 % CO₂; ●, □ — в углекислом газе

неизменности остальных параметров процесса. В целом производительность сварочных работ практически не снижается, увеличивается лишь количество проходов, поскольку сечение каждого из них уменьшается. Термический цикл металла швов оказывается благоприятным для формирования структур типа игольчатого феррита, поскольку при этом повышается скорость охлаждения в интервале температур 800...500 °С.

И, в-третьих, весьма эффективным путем повышения хладостойкости металла швов является применение сварочных проволок с пониженным ($\leq 0,01$ мас. %) содержанием серы. Так, в одной из используемых в наших исследованиях проволок Св-08Г2С содержание серы составляло

0,01 мас. %. Ударная вязкость металла швов, выполненных этой проволокой, оказалась значительно выше, чем при использовании проволоки с содержанием серы около 0,02 мас. % (рис. 8).

При низком содержании серы сульфидная фаза в металле швов не образует на границах первичных аустенитных зерен сплошных протяженных пленочных выделений [13], которые при динамических нагрузках могут стать местами зарождения хрупких разрушений. Кроме того, при формировании оксисульфидных включений сульфидная фаза не формирует сплошного слоя на поверхности оксидных включений, т. е. не дезактивирует эту поверхность, являющуюся местом эпитаксиального зарождения игольчатого феррита при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении во время охлаждения швов.

Таким образом, при сварке в защитных газах низколегированных сталей существующий ассортимент сварочных материалов (кремнемарганцевых проволок и защитных газов), а также комплекс технологических приемов позволяют выбирать такие варианты, при которых обеспечивается требуемый уровень хладостойкости металла швов наряду с оптимальным сочетанием других механических свойств.

Замена одного способа сварки другим всегда требует отработки технологии и техники сварки, а также оценки механических свойств и работоспособности сварных соединений. Результаты этих исследований в части сварки сталей в аргоновых смесях отражены в работах [7, 9, 10, 14].

Повышение пластичности, ударной вязкости и сопротивления возникновению разрушения швов, выполненных в смеси газов Ag + CO₂, можно объяснить тем, что основной структурной составляющей (70...75 об. %) здесь является мелкодисперсный игольчатый феррит (рис. 9, а), в котором из-за наличия высокоугловых субзеренных границ развитие микротрещин происходит зигзагообразно [15]. Участки доэвтектоидного феррита и других структурных составляющих, охрупчивающих металл при низких температурах, разобщены и не образуют сплошной сетки по границам первичных аустенитных зерен. Швы, выполненные в углекислом газе (рис. 9, б), содержат больше доэвтектоидного феррита и значительно меньше (30...40 об. %) игольчатого.

Существенным фактором, влияющим на вязкость и пластичность шва, является также содержание и распределение в нем неметаллических включений. В швах, выполненных в смеси Ag + CO₂, содержание кислорода и связанная с ним объемная доля неметаллических включений в 2 раза ниже, чем при сварке в углекислом газе.

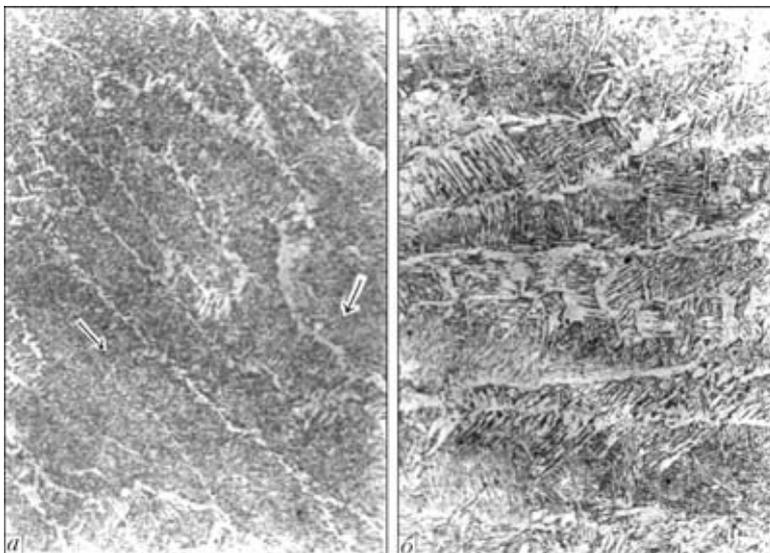


Рис. 9. Микроструктура (X200) металла швов, выполненных в смеси газов Ag + 25 % CO₂ (а) и углекислом газе (б); стрелками показаны участки игольчатого феррита



Кроме включений, видимых в оптический микроскоп, существуют и субмикроскопические включения, обнаруживаемые на экстракционных угольных репликах с помощью электронного микроскопа [8]. Эти включения в металле швов, выполненных в смеси $\text{Ag} + \text{CO}_2$, распределяются равномерно (рис. 10, *б*) и не образуют больших скоплений вокруг крупных (1...2 мкм) оксидных включений, как это имеет место в швах, выполненных в углекислом газе (рис. 10, *з*). Отсутствие значительных скоплений мелкодисперсных включений вблизи крупных оксидных включений обуславливает такой характер движения дислокаций при пластической деформации, при котором в условиях положительных и отрицательных температур повышается вязкость разрушения металла. Об этом свидетельствуют данные о плотности дислокаций, измеренной на фотографиях, которые получены при изучении тонких фольг на просвечивающем электронном микроскопе JEM-120. У металла швов, выполненных в смеси газов $\text{Ag} + \text{CO}_2$, плотность дислокаций составляет $3,4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, а в углекислом газе — $5,0 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Кроме того, многочисленные распределенные равномерно субмикроскопические оксидные частицы могут стать зародышами феррита в аустенитной матрице при охлаждении [12]. В результате при $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении создаются условия для возникновения дезориентированной мелкозернистой структуры игольчатого феррита, отличающейся высокими пластичностью, хладостойкостью и сопротивляемостью против развития хрупкого разрушения.

Повышение сопротивляемости хрупкому и вязкому разрушениям металла швов, выполненных в смеси газов $\text{Ag} + \text{CO}_2$, обусловлено повышением содержания игольчатого феррита, отсутствием крупных выделений фаз, охрупчивающих металл при отрицательных температурах, равномерным распределением неметаллических микроскопических и субмикроскопических включений. Наши данные и результаты других исследователей [16, 17] свидетельствуют о том, что показатели механических свойств и трещиностойкости металла швов, выполненных в газовых смесях на основе аргона, соответствуют требованиям, предъявляемым к соединениям и конструкциям, работающим в условиях отрицательных температур, динамических нагрузок и прочих неблагоприятных факторов.

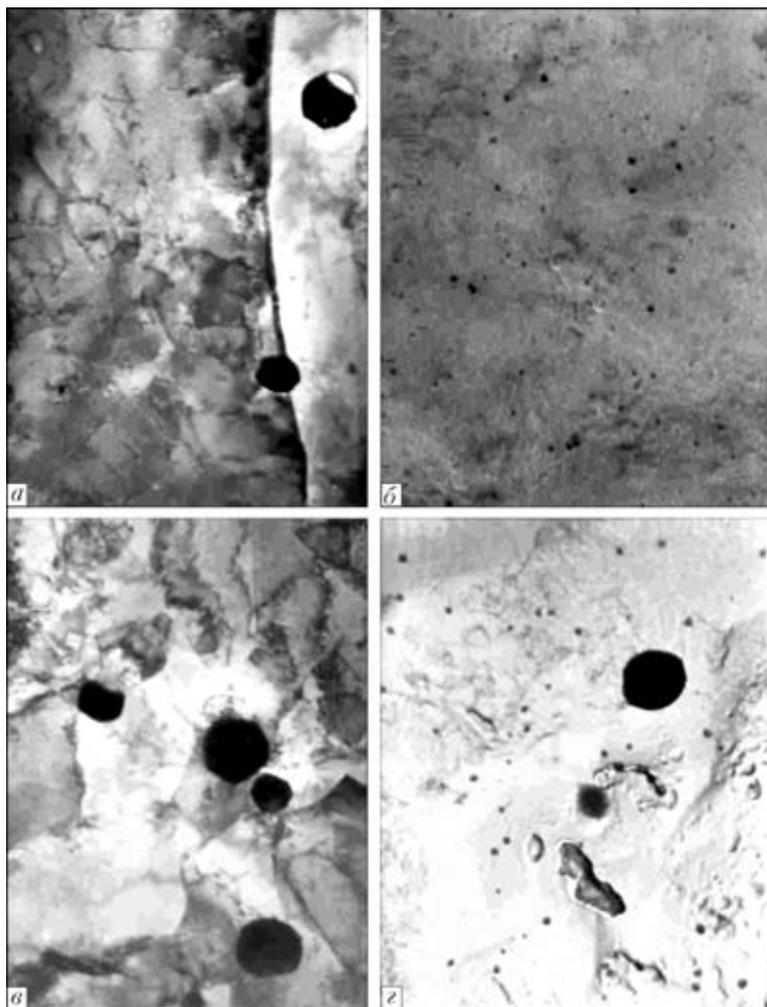


Рис. 10. Тонкая структура металла швов, выполненных в смеси $\text{Ag} + 25\% \text{CO}_2$ (*а, б*) и углекислом газе (*в, з*). Получена с использованием тонких фольг (*а, в*), $\times 1350$ и угольных экстракционных реплик (*б, з*), $\times 20000$

На ОАО «Азовмаш» в соответствии с разработанной технологией изготовлены два опытных образца надрессорных балок. Их испытания на усталость проводились Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта на оборудовании Южного машиностроительного завода. Для закрепления балок использовали силовую пол, а нагружение осуществляли с помощью гидроцилиндров. При испытании первой балки макротрещину длиной 30 мм обнаружили при 2745000 циклах нагружения, потеря несущей способности имела место при 2800000 циклах нагружения. Зарождение и развитие усталостной трещины произошло под действием нормальных напряжений, чем в значительной степени объясняется высокая скорость ее распространения.

Во второй балке после $6 \cdot 10^6$ циклов нагружений усталостная макротрещина обнаружена не была, поэтому испытания прекратили. Их результаты убедительно свидетельствовали о возможности создания сварных надрессорных балок.



Выводы

1. Разработанная сварная наддресорная балка тележек грузовых вагонов отвечает всем требованиям, предъявляемым к сварным конструкциям, эксплуатируемым при циклическом нагружении.

2. Рекомендуются технология изготовления наддресорных балок основывается на выполнении сварки в смеси газов $Ag + 25\% CO_2$. Балки, изготовленные с использованием этой технологии, отвечают всем требованиям, предъявляемым к конструкциям, работающим в условиях отрицательных температур, динамических нагрузок и других неблагоприятных факторов.

3. Испытания опытных образцов показали, что сварные наддресорные балки обеспечивают требуемую долговечность, по прочностным и технико-экономическим показателям они не уступают литым и могут быть рекомендованы для проведения полных циклических испытаний.

1. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных).* — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1993. — 274 с.
2. *СНиП 11-23-81.* Строительные нормы и правила / ЦИТП Госстроя СССР. — М., 1988. — 96 с.
3. *Серенсен С. В., Козаев В. П., Шнейдерович Р. М.* Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / Под ред. акад. АН УССР С. В. Серенсена. — М.: Машгиз, 1963. — 452 с.
4. *Прочность сварных соединений при переменных нагрузках* / Под ред. В. И. Труфякова. — Киев: Наук. думка, 1990. — 256 с.
5. *Рекомендации по повышению сопротивления усталости сварных соединений несущих элементов строительных и дорожных машин* / Ин-т электросварки им. Е. О. Патона АН УССР. — Киев, 1978. — 72 с.
6. *Hobbacher A.* Recommendations for fatigue design of welded joints and components. — S. l., [2002]. — 154 p. (Intern. Inst. of Welding; Doc. XIII-1539-96/XV-845-96).

The possibility of making welded freight bogie bolsters to compete with traditional cast ones is considered. It is shown that making of a welded structure, for which the cyclic load plays a decisive role, requires an integrated approach based on development of optimal designs of units and manufacturing technologies.

7. *Свецинский В. Г., Римский С. Т., Галинич В. И.* Сварка сталей в защитных газовых смесях на основе аргона в промышленности Украины // Автомат. сварка. — 1994. — № 4. — С. 41–44.
8. *Свецинский В. Г., Римский С. Т., Петров Ю. Н.* Особенности тонкой структуры металла швов, сваренных в защитных газах // Там же. — 1974. — № 8. — С. 5–8.
9. *Свецинский В. Г., Римский С. Т., Нерянов С. А.* Возможности повышения показателей хладостойкости швов при сварке низколегированных сталей в защитных газах кремнемарганцевыми проволоками // Сварочные материалы для механизированной дуговой сварки сталей: Материалы междунар. семинара (г. Никополь, окт. 1990 г.). — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1991. — С. 131–136.
10. *Опыт производственного применения защитных газовых смесей на основе аргона заводами В/О «Союзсталь-конструкция»* / Н. П. Рошупкин, Н. А. Близнак, Н. М. Медведев и др. // Автомат. сварка. — 1984. — № 3. — С. 51–53.
11. *Abson D. J.* Non-metallic inclusion in ferritic steel welds metals — a review // Welding in the World. — 1989. — 27, № 3/4. — P. 76–101.
12. *Cochrane R. C., Kirkwood P. R.* The effect of oxygen on weld microstructure // Trends in steel and consumables for welding: Intern. conf., London, Nov. 14–16, 1978. — Cambridge: Welding Inst., 1979. — P. 103–122.
13. *Подгаецкий В. В., Парфеско Г. И.* Трещины сульфидного происхождения при сварке стали. — Киев: Наук. думка, 1977. — 149 с.
14. *Римский С. Т., Галинич В. И., Филинюк И. Я.* Преимущества механизированной сварки конструкционных сталей в смесях защитных газов на основе аргона // Сварщик. — 2001. — № 5. — С. 6–7, 11.
15. *Kirkwood P. R.* New observations on microstructural and toughness control in low carbon weld metals. — S. l., [1977]. — 12 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II A-433-77).
16. *Haas B., Pomaska H. U.* Influence of process specific welding parameters on fume generation in solid wire GMA (MAG) welding // Proc. Collog. Welding and Health, Juli 8, 1980, Estoril. — Estoril, 1980. — P. 8.
17. *Vaidya V. V.* Shielding gas mixtures for semiautomatic welds // Welding J. — 2002. — № 9. — P. 43–48.

Поступила в редакцию 06.04.2005



ПРОМЫШЛЕННАЯ НЕДЕЛЯ 2006

17–20 октября 2006 г.

г. Киев

В рамках Промышленной недели 2006 состоятся специализированные выставки с международным участием:

- Шестая выставка «Кабель электромонтаж 2006»
- Шестая выставка «Сварка Украина 2006»
- Вторая выставка «Проволока канаты 2006»
- Вторая выставка «Инженерия поверхности 2006»
- Первая выставка «Листовой металл 2006»

В Промышленной недели будет проведена Первая международная конференция «Современные технологии в производстве металлических изделий».

Среди организаторов выставок — Украинская ассоциация «Укрэлектрокабель», Общество сварщиков Украины, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Ассоциация технологов-машиностроителей Украины, ГДС ЭКСПО, Торговый Дом «Сварка», Национальный Комплекс «Экспоцентр Украины».

Оргкомитет: ООО «ТДС-Экспо» 03680, Украина, г. Киев, пр-т Глушкова, 1, пав. 21

Тел./факс: (38044) 526-9376, 526-9184, 526-9374

E-mail: olga@welding.kiev.ua, seva@welding.kiev.ua, exhibit@welding.kiev.ua, www.weldexpo.com.ua