



## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

**А. А. ГАЙВОРОНСКИЙ**, канд. техн. наук, **В. Д. ПОЗНЯКОВ**, **Л. И. МАРКАШОВА**, доктора техн. наук,  
**Е. Н. БЕРДНИКОВА**, канд. техн. наук, **А. В. КЛАПАТЮК**, **Т. А. АЛЕКСЕЕНКО**, **А. С. ШИШКЕВИЧ**, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены экспериментальные данные по влиянию состава наплавочных материалов на формирование структуры и механические свойства наплавленного металла на колесах из стали марки 2. С применением аналитических методов оценены прочностные свойства, пластичность и трещиностойкость восстановленных наплавкой железнодорожных колес. Установлено, что для обеспечения требуемого комплекса механических свойств, высокой стойкости против образования трещин в основном и наплавленном металле для восстановления дуговой наплавкой железнодорожных колес из стали марки 2 целесообразно применять наплавочные материалы бейнитного или бейнитно-мартенситного класса.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, железнодорожные колеса, наплавленный металл, зона термического влияния, структура, свойства, трещиностойкость

Вопрос об обеспечении надежности и долговечности подвижного состава с увеличением количества перевозок и интенсивности движения железнодорожного транспорта становится все более актуальным. Наиболее остро это касается базовых деталей и механизмов ходовых частей вагонов и локомотивов, основным элементом которых является колесо, непосредственно контактирующее с рельсом. При эксплуатации поверхность катания колеса изнашивается. В значительной степени подвержена износу внутренняя поверхность гребня, что определяется условиями работы пары трения-качения колесо-рельс. Восстановление изношенного профиля катания колеса выполняют на специализированных ремонтных предприятиях железнодорожного транспорта методом механической обточки или, что экономически более выгодно, предварительно выполнив восстановительную наплавку поверхности гребня.

Железнодорожные колеса грузового транспорта, бандажи колес локомотивов, бандажи трамвайных колес пассажирского транспорта изготавливают из высокопрочных углеродистых сталей,

химический состав и механические свойства которых приведены в табл. 1, 2. Как видно, колесные стали отличаются высокой прочностью и твердостью. Такие свойства металла обеспечивают необходимый уровень эксплуатационной прочности колес. На железнодорожном транспорте Украины и стран СНГ наиболее широко применяются бандажи и цельнокатаные колеса из стали марки 2. В соответствии с ГОСТ 10791–89 содержание углерода в колесной стали марки 2 составляет 0,55...0,65 %. Однако, как свидетельствует опыт, наиболее часто железнодорожные бандажи и колеса изготавливают из стали, содержание углерода в которой не превышает 0,60 мас. %.

В настоящее время при восстановлении наплавкой изношенных поверхностей железнодорожных колес применяют несколько технологий — это одно- или двухдуговая наплавки под слоем флюса, реже наплавка в среде защитных газов. При этом в качестве наплавочных материалов используют сварочные проволоки сплошного сечения ферритно-перлитного (Св-08ГС, Св-08Г2С), бейнитного (Св-10ГСМТ, Св-08ХМ) или бейнитно-мартенситного (Св-10ХГ2СМФ) классов [1–3]. При восстановлении наплавкой изношенных гребней цельнокатаных колес грузовых вагонов применяют бейнитные и бейнитно-мартенситные наплавочные

**Таблица 1.** Химический состав высокопрочных колесных сталей, мас. %

Нормативный документ	Марка стали	С	Mn	Si	V	S	P
						не более	
ГОСТ 10791–89	1	0,44...0,52	0,80...1,20	0,40...0,60	0,08...0,15	0,030	0,035
ГОСТ 10791–89	2	0,55...0,65	0,50...0,90	0,22...0,45	≤ 0,10	0,030	0,035
ТУ У 35.2-23365425-600:2006	T	0,58...0,67	0,70...0,90	≤ 0,4	0,08...0,15	0,020	0,025



**Таблица 2. Механические свойства высокопрочных колесных сталей**

Марка стали	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	$KCU_{+20}$ , Дж/см <sup>2</sup>	$HB$ , МПа
1	900...1100	12	21	30	2480
2	930...1130	8	14	20	2500
T	≥ 1100	8	14	18	3200

материалы. Наплавку выполняют при регулируемом термическом цикле с применением предварительного подогрева от 150 до 250 °С и замедленного охлаждения колес после наплавки. Технологии обеспечивают качественное восстановление изношенного металла колес и их работоспособность при последующей эксплуатации. В то же время при восстановлении профиля катания бандажей трамвайных колес на некоторых предприятиях еще используют технологию 1960-х годов, когда наплавку выполняли проволокой Св-08А без предварительного подогрева и замедленного охлаждения изделий.

Очевидно, что при таком разнообразии технологий свойства наплавленного металла, зоны сплавления и участков металла ЗТВ соединений существенно отличаются. Это влияет на трещиностойкость восстановленных наплавкой колес и их дальнейшую работоспособность. С точки зрения надежности и безопасности движения железнодорожного транспорта при восстановлении наплавкой колес необходимо обеспечить эксплуатационные свойства наплавленного металла на уровне колесной стали. Например, при восстановлении гребней цельнокатаных колес грузовых вагонов твердость наплавленного металла  $HB$  должна быть не ниже 2500 МПа, а предел прочности — не ниже 700 МПа. При этом необходимо обеспечить однородность структуры и минимальный уровень градиента напряжений в переходной зоне от наплавленного к основному металлу, так как нормализация изделий после наплавки не предусмотрена.

Целью настоящей работы являлось проведение сравнительной оценки комплекса свойств наплавленного металла в зависимости от его состава, определение особенностей структурных изменений в наплавках и их влияние на механические свойства соединений колесной стали. В качестве объекта исследований была выбрана колесная сталь марки 2 следующего химического состава, мас. %: 0,58 С; 0,77 Mn; 0,44 Si.

Влияния термомеханического цикла сварки на структуру и механические свойства колесной стали

марки 2 рассмотрено в работе [2], где показано, что скорость охлаждения может существенно влиять на структурно-фазовый состав и механические свойства металла ЗТВ. В диапазоне скоростей охлаждения  $w_{6/5} = 1,15...32$  °С/с предел прочности металла ЗТВ колесной стали может изменяться от 940 до 1060 МПа, а предел текучести — от 600 до 715 МПа. При этом его относительное удлинение  $\delta_5$  находится в диапазоне 9,3...13,3 %, а сужение  $\psi$  — 24,9...33,3 %.

Для определения механических свойств наплавленного металла был выбран метод, при котором образцы для испытаний вырезали из верхних слоев металла шва многослойных сварных соединений с V-образной разделкой размером 350×250×20 мм, зазор в корне которых составлял 10 мм. При таком варианте соединения перемещение основного металла и шва в центральном его сечении минимальное, что может быть приравнено к условиям многослойной наплавки. Автоматическую сварку таких соединений выполняли под слоем флюса АН-348 проволоками сплошного сечения марок Св-08Г2С, Св-08ХМ и Св-08ХМФ диаметром 2,0 мм. Некоторые соединения были сварены в среде углекислого газа порошковой проволокой ПП-АН180МН (тип легирования 10ХГСМНФТ) диаметром 2,0 мм. Сварку соединений выполняли с предварительным подогревом до температуры 150 °С. Режимы сварки были подобраны таким образом, чтобы обеспечить погонную энергию  $Q_{св}$  в диапазоне 11...13 кДж/см. В дальнейшем из верхних слоев металла шва соединений вырезали специальные образцы для испытаний на растяжение (ГОСТ 1497) и ударный изгиб (ГОСТ 9454). Химический состав и механические свойства металла швов приведены в табл. 3, 4. Как показали результаты испытаний, за исключением проволоки Св-08Г2С, все наплавочные материалы позволяют получить наплавленный металл, прочность и твердость ко-

**Таблица 3. Химический состав металла швов, мас. %**

Проволока	С	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo
Св-08Г2С	0,10	2,10	0,95	—	—	—	—
Св-08ХМ	0,12	1,36	0,60	0,60	—	—	0,42
Св-08ХМФ	0,12	1,25	0,62	0,61	—	0,10	0,36
ПП-АН180МН	0,12	1,00	0,35	0,67	0,80	0,10	0,40

**Таблица 4. Механические свойства металла швов**

Проволока	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	$KCU_{+20}$ , Дж/см <sup>2</sup>	$HB$ , МПа
Св-08Г2С	510	590	25,4	63,0	130	2100
Св-08ХМ	535	705	21,0	61,0	98	2500
Св-08ХМФ	610	730	17,2	56,3	86	2600
ПП-АН180МН	700	790	12,7	57,6	97	2600



торого находится на уровне требований, предъявляемых к восстановленным железнодорожным колесам грузовых вагонов.

Как известно, свойства наплавленного металла определяются его структурно-фазовым составом, который формируется в процессе сварки и охлаждения соединений. Поэтому цель дальнейших исследований заключалась в изучении влияния условий сварки на структурно-фазовый состав металла шва и ЗТВ сварных соединений колесной стали марки 2. Состояние структуры металла исследовали на различных уровнях — от макро (зеренного) до микро (дислокационного).

С учетом этих данных, применив уравнение Арчарда, а также известные зависимости Холла-Петча, Орована и др., было установлено расчетным путем как изменяется в различных зонах сварного соединения предел текучести  $\sigma_{0,2}$  металла:

$$\Sigma\sigma_T = \Delta\sigma_0 + \Delta\sigma_{т.р} + \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_c + \Delta\sigma_{п} + \Delta\sigma_d + \Delta\sigma_{д.у}, \quad (1)$$

где  $\Delta\sigma_0$  — сопротивление решетки металла движению свободных дислокаций;  $\Delta\sigma_{т.р}$  — упрочнение твердого раствора легирующими элементами и примесями;  $\Delta\sigma_3$ ;  $\Delta\sigma_c$  — упрочнения за счет изменения величины зерна и субзерна;  $\Delta\sigma_{п}$  — упрочнение за счет перлита;  $\Delta\sigma_d$  — дислокационное упрочнение;  $\Delta\sigma_{д.у}$  — дисперсионное упрочнение.

При этом был оценен вклад отдельных структурных составляющих, величины зерна, субзерна, плотности дислокаций на изменение общей (интегральной) прочности. Метод проведения аналитической оценки при выполнении данных исследований аналогичен, приведенному в работах [4, 5].

Критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{1C}$ , характеризующий сопротивляемость металла хрупкому разрушению, и локальные внутренние напряжения  $\tau_{в.н}$  в структуре, являющиеся потенциальными источниками зарождения и распространения трещин, определены по формулам

$$K_{1C}^* = (2E\sigma_T \delta_l)^{1/2}, \quad (2)$$

$$\tau_{в.н} = Gbh\rho / [\pi(1-\nu)], \quad (3)$$

где  $E$  — модуль Юнга;  $\sigma_T$  — расчетное значение предела текучести;  $\delta_l$  — значение критического раскрытия трещины, приравненное к параметрам субструктуры (размер субзерен, ширина реек или размер фрагментов);  $G$  — модуль сдвига;  $b$  — вектор Бюргерса;  $h$  — толщина фольги ( $2 \cdot 10^{-5}$  см);  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $\rho$  — плотность дислокаций.

Все указанные выше исследования выполняли применительно к вариантам наплавки с использованием проволоки сплошного сечения Св-

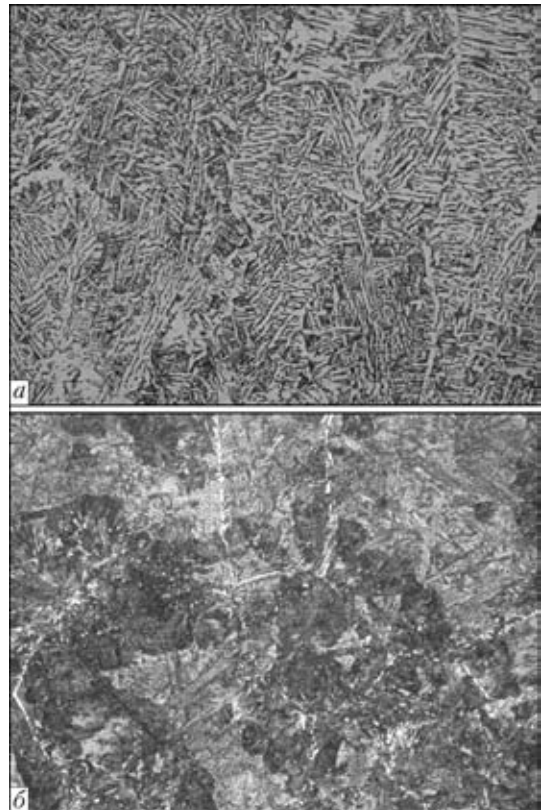


Рис. 1. Микроструктуры ( $\times 500$ ) металла шва (а) и участка крупного зерна ЗТВ (б) колесной стали марки 2 при сварке проволокой Св-08Г2С

08Г2С и порошковой проволоки ПП-АН180МН, а их результаты представлены на рис. 1–5.

Как показали металлографические исследования, металл швов соединений колесной стали марки 2, выполненных проволокой Св-08Г2С, имеет крупнозернистую структуру, состоящую из феррита и перлита (рис. 1, а). Размеры кристаллитов ( $h_{кр} \times l_{кр}$ ) ориентировочно равны  $(30 \dots 130) \times (60 \dots 250)$  мкм. Микротвердость феррита  $HV(\Phi) = 2010$ , а перлита  $HV(\Pi) = 2210 \dots 2510$  МПа. Структура металла на участке перегрева ЗТВ таких соединений состоит из мартенсита (М), бейнита (Б), которые имеют соответственно следующую микротвердость:  $HV(М) = 3660 \dots 4540$ ,  $HV(Б) = 2570 \dots 3570$  МПа и ферритных оторочек  $\Phi_{от}$  толщиной  $\delta(\Phi_{от}) = 3 \dots 7$  мкм, расположенных по границам зерен (рис. 1, б). Размер зерен  $D_3$  М и Б соответственно составляет  $115 \dots 215$  и  $40 \dots 155$  мкм, а их объемная доля равна  $V_M = 30$  и  $V_B = 65 \dots 68$  %.

Металл швов соединений, выполненных порошковой проволокой ПП-АН180МН, характеризуется бейнитно-мартенситной (Б-М) структурой (рис. 2, а) с микротвердостью  $HV(Б-М) = 2860 \dots 3290$  МПа и размерами кристаллитов  $h_{кр} \times l_{кр} = (25 \dots 60) \times (65 \dots 180)$  мкм, а также наличием по границам зерен ферритных оторочек толщиной  $\delta(\Phi_{от}) = 3 \dots 5$  мкм. Соотношение объемных долей Б и М в металле швов составляет 70 к 30 %. Близкая по составу структура выявлена

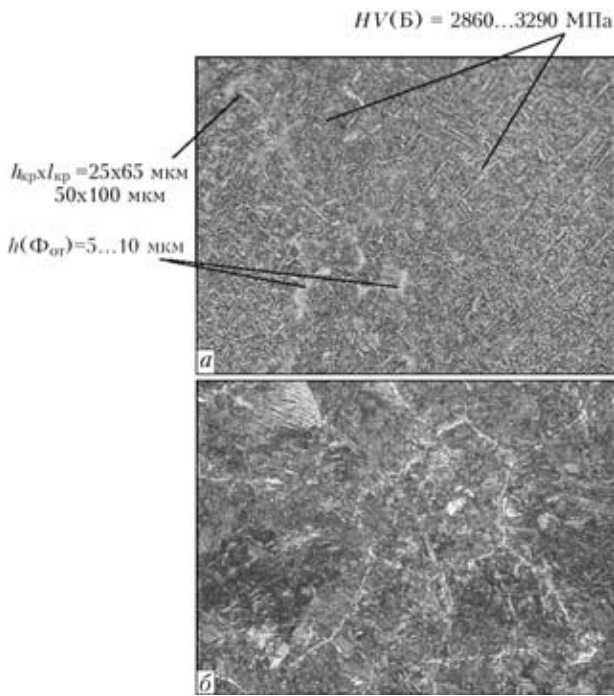


Рис. 2. Микроструктуры ( $\times 500$ ) металла шва (а) и участка крупного зерна ЗТВ (б) колесной стали марки 2 при сварке проволокой ПП-АН180МН

и в металле на участке перегрева ЗТВ таких соединений (рис. 2, б). Объемная доля Б и М в данной зоне сварного соединения составляет соответственно 75...80 и 25...20 %, а микротвердость находится в пределах  $HV(M) = 3660...4540$  МПа и  $HV(B) = 2570...3570$  МПа. Размеры зерен Б и М составляют 115...215 мкм (М) и 40...155 мкм (Б). Как и в предыдущих случаях, по границам зерен были выявлены ферритные оторочки толщиной  $\delta(\Phi_{от}) = 3...7$  мкм.

Таким образом, оптическая металлография показала, что в металле шва соединений, выполненных проволокой Св-08Г2С, формируется круп-

нозернистая, резкоградиентная по величине зерна (изменяется в 2...4 раза) ферритно-перлитная структура, а в металле ЗТВ — мелкозернистая бейнитно-мартенситная структура, микротвердость которой практически в 1,5 раза превышает микротвердость наплавленного металла. В сварных соединениях, выполненных порошковой проволокой ПП-АН180МН, в металле шва и ЗТВ формируется достаточно близкая по фазовому составу бейнитно-мартенситная структура, не имеющая резких градиентов как по величине зерна, так и по твердости.

Особенности изменения тонкой структуры (ширины реек, размера субструктуры и плотности дислокаций) металла шва и ЗТВ соединений колесной стали изучали методами просвечивающей электронной микроскопии. Они показали, что в основном объеме металла шва соединений, выполненных проволокой Св-08Г2С, размеры цементитных  $h_{ц}$  и ферритных  $h_{ф}$  пластин в перлите составляют соответственно 0,1...0,4 и 0,7...1,5 мкм, а плотность дислокаций  $\rho = (4...6)10^9$  см<sup>-2</sup> (рис. 3, а, б). Установлено также, что на участке шва, расположенном в непосредственной близости к линии сплавления и на удалении от нее до 500 мкм, структура измельчается на порядок, а плотность дислокаций повышается до  $1 \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup> (рис. 3, в, г). В металле на участке перегрева ЗТВ ширина реек бейнита верхнего  $h_{Бв}$  составляет 0,8...1,3 мкм, бейнита нижнего  $h_{Бн}$  — 0,3...0,8 мкм, мартенсита  $h_{М} = 1...1,5$  мкм. Размеры фрагментов бейнита нижнего  $d_{фр}(Б_{н})$  находятся в пределах 0,15...0,5 мкм. По сравнению с металлом шва плотность дислокаций в данной зоне сварного соединения увеличивается до  $\rho = (5...8) \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup> (рис. 3, д, е).

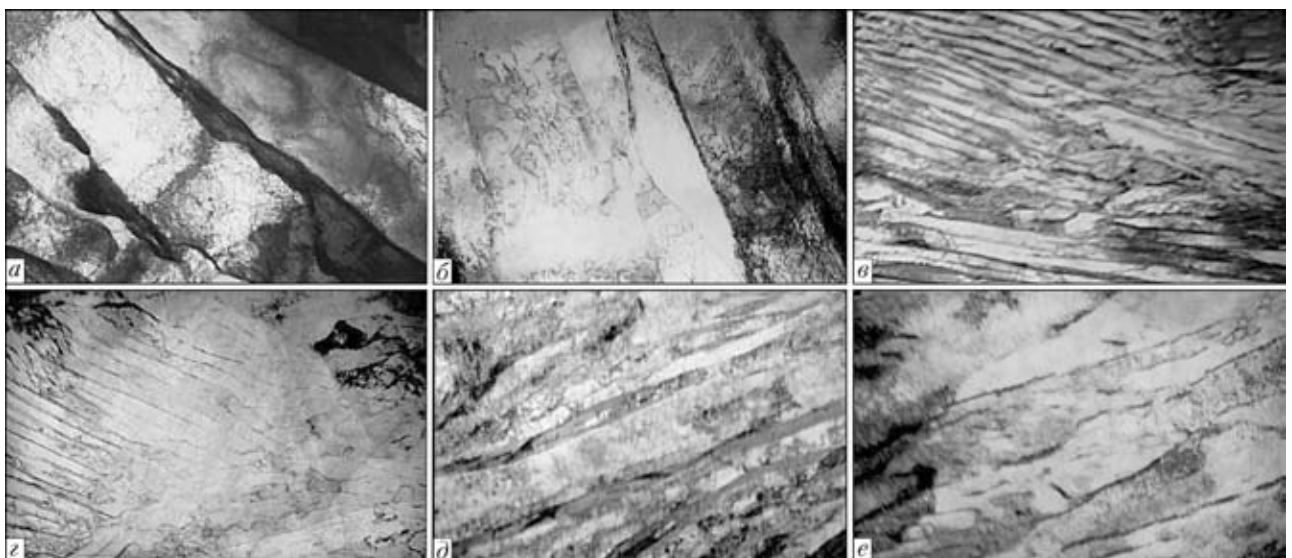


Рис. 3. Тонкая структура металла шва (а-г) и участка металла крупного зерна ЗТВ (д, е) соединений колесной стали марки 2 при сварке проволокой Св-08Г2С: а, б, г, д —  $\times 20000$ ; в, е —  $\times 30000$

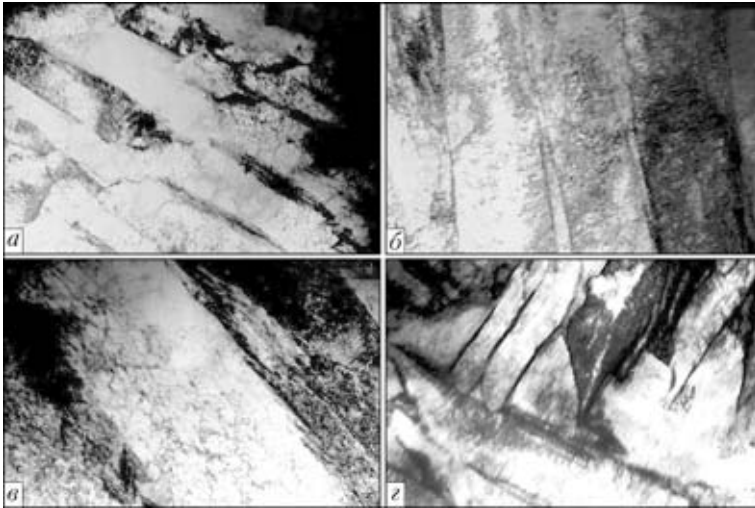


Рис. 4. Тонкая структура металла шва (а, б) и участка металла крупного зерна ЗТВ (в, з) соединений колесной стали марки 2 при сварке проволокой ПП-АН180МН: а —  $\times 15000$ ; б —  $20000$ ; в, з —  $30000$

При сварке порошковой проволокой ПП-АН180МН в металле шва (рис. 4, а, б) и ЗТВ (рис. 4, в, з) формируется близкая по составу и размерам элементов структура, состоящая из верхнего и нижнего бейнита, а также мартенсита. Ширина реек бейнита верхнего  $h_{БВ}$  составляет  $0,5...1,2$  мкм, бейнита нижнего  $h_{БН} = 0,4...0,7$  мкм, мартенсита  $h_M = 1...1,5$  мкм. Распределение плот-

ности дислокаций в таком соединении относительно равномерное  $\rho = 5 \cdot 10^{10}...10^{11} \text{ см}^{-2}$ .

На рис. 5 показано как в зависимости от состава наплавленного металла изменяется предел текучести металла в разных зонах сварных соединений. Установлено, что упрочнение основного объема металла шва сварных соединений, выполненных проволокой Св-08Г2С, преимущественно обусловлено влиянием карбидных фаз ( $\Delta\sigma_{д.у} = 190...230$  МПа) (рис. 5, а). Вблизи линии сплавления предел текучести металла шва возрастает практически в 1,7 раза от 480 до 800 МПа. Это происходит главным образом за счет дополнительного вклада в упрочнение металла

субструктурного ( $\Delta\sigma_c = 300$  МПа) и дислокационного ( $\Delta\sigma_d = 60$  МПа) факторов.

Изменение значений предела текучести металла в различных зонах сварных соединений, выполненных порошковой проволокой ПП-АН180МН, происходит плавно (рис. 5, б). Упрочнение металла шва таких соединений в основном происходит за счет субструктурного ( $\Delta\sigma_c = 345$  МПа) и дислокационного ( $\Delta\sigma_d = 140...200$  МПа) упрочнения. В меньшей мере на этот процесс оказывают влияние частицы карбидных фаз ( $\Delta\sigma_{ч} = 75$  МПа). При этом упрочнение за счет измельчения (диспергирования) субструктуры бейнита нижнего составляет порядка 33 % ( $\Delta\sigma_c = 280$  МПа) общего уровня упрочнения.

Упрочнение металла ЗТВ указанных соединений происходит одинаково. Это связано прежде всего с фрагментацией субструктуры бейнита нижнего ( $\Delta\sigma_c = 367$  МПа) и повышением плотности дислокаций ( $\Delta\sigma_d$  до 200 МПа), что составляет соответственно 42...48 и 20...25 % общего

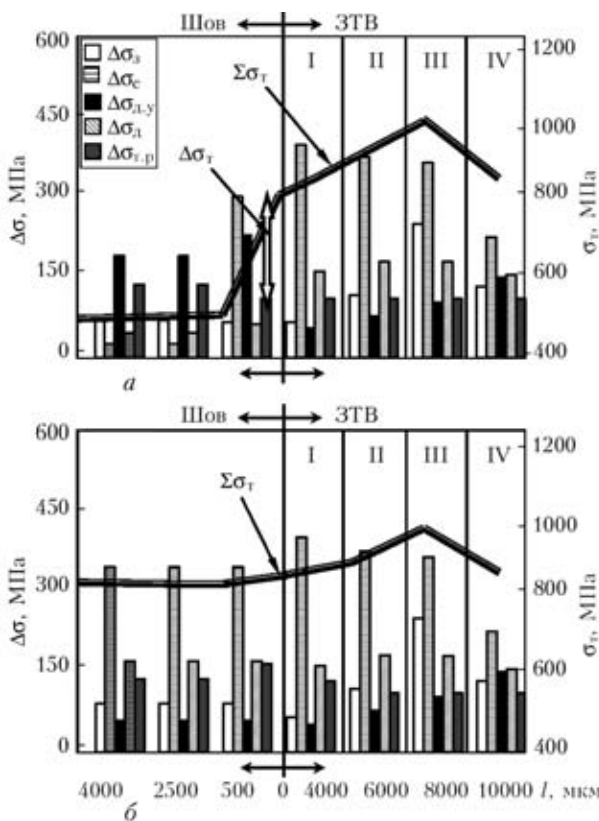


Рис. 5. Вклад структурных составляющих и упрочнение металла сварных соединений при сварке проволокой Св-08Г2С (а) и ПП-АН180МН (б): I-IV — участки ЗТВ соответственно перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации

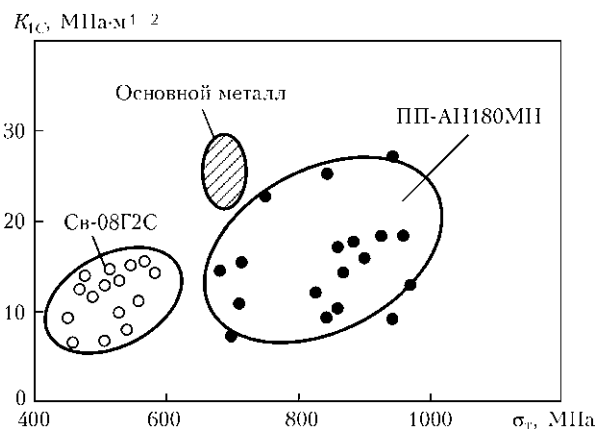


Рис. 6. Диаграмма изменения расчетных механических свойств ( $\sigma_{0,2}$ ,  $K_{1C}$ ) металла швов сварных соединений колесной стали в зависимости от состава наплавленного металла

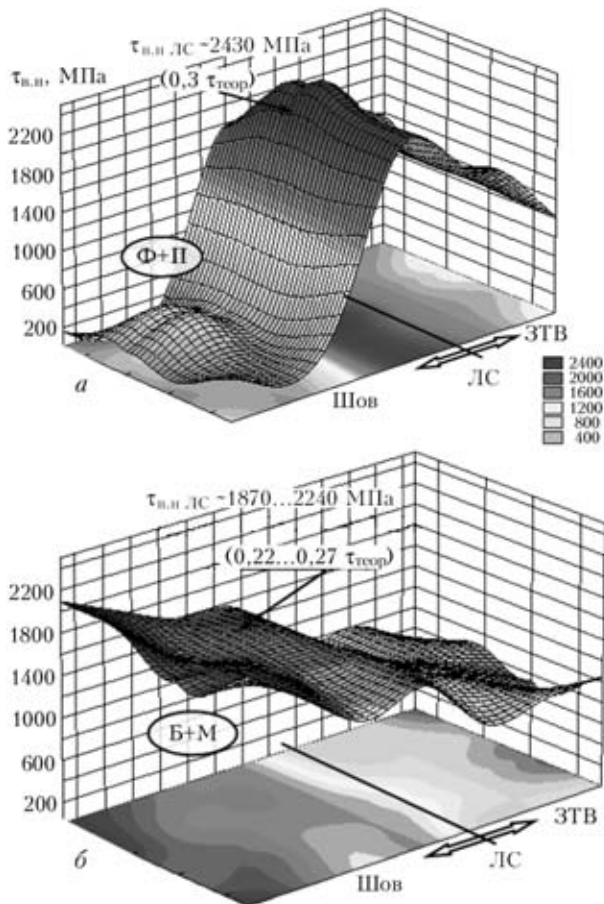


Рис. 7. Уровень локальных внутренних напряжений  $\tau_{в.н}$ , формирующихся в сварных соединениях колесной стали, в зависимости от состава наплавленного металла: а — Св-08Г2С; б — ПП-АН180МН

уровня упрочнения. Предел текучести металла ЗТВ находится в пределах 820...1000 МПа.

Результаты расчетных оценок значений  $K_{1C}$  сварных соединений колесной стали 2, выполненных проволоками Св-08Г2С и ПП-АН180МН (рис. 6), показали следующее. Несмотря на более высокие прочностные характеристики, основной объем металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-АН180МН, обладает такими же значениями  $K_{1C}$  как и соединения, выполненные проволокой Св-08Г2С, а на некоторых участках превышает их практически в 2 раза. Это связано с особенностями формирования в нем благоприятной субструктуры, более равномерным распределением дислокаций и измельчением зерен, в то время как металл, наплавленный проволокой Св-08Г2С, отличается неравномерным распределением плотности дислокаций и наличием перлитных структур с протяженными цементитными фазовыми выделениями, что отрицательно влияет на показатели  $K_{1C}$ . В целом такие исследования показали, что при сварке проволокой ПП-АН180МН в металле шва формируется структура, сочетающая высокую прочность с хорошей сопротивляемостью хрупкому разрушению.

Результаты расчетных оценок локальных внутренних напряжений  $\tau_{в.н}$  при сопоставлении этих значений с теоретической прочностью материала (рис. 7), показали, что более низкий общий уровень распределенных в шве локальных внутренних напряжений формируется в сварных соединениях, выполненных проволокой Св-08Г2С (рис. 7, а). Их значение не превышает 400 МПа, что составляет примерно 0,04 теоретической прочности металла  $\tau_{теор}$ . Повышение плотности дислокаций от  $(4...6) \cdot 10^9$  до  $(5...8) \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup> в зоне шва, которая находится в непосредственной близости к линии сплавления (ЛС) и в ЗТВ таких соединений, приводит к резкому увеличению  $\tau_{в.н}$  до 2240...2430 МПа, что составляет  $(0,3...0,4)\tau_{теор}$  и к формированию значительных градиентов внутренних напряжений ( $\Delta\tau_{в.н} \sim 2000$  МПа). Максимальные значения  $\tau_{в.н}$  формируются на границе сопряжения Ф-П и Б-М структур.

Общий уровень  $\tau_{в.н}$  в металле швов в соединениях, выполненных порошковой проволокой ПП-АН180МН, выше (1870...2240 МПа), однако они равномерно распределены по металлу шва и относительно плавно снижаются при переходе к металлу ЗТВ до 900...1100 МПа. За счет этого резких градиентов локальных напряжений в таких соединениях не наблюдается, что является благоприятным с точки зрения предупреждения трещинообразования.

## Выводы

1. Требуемый комплекс механических свойств наплавленного металла при восстановлении изношенных поверхностей железнодорожных колес (твердость  $HB \geq 2500$ , прочность  $\sigma_b \geq 700$  МПа) могут обеспечить наплавочные материалы бейнитного или бейнитно-мартенситного классов — проволоки сплошного сечения Св-08ХМ, Св-08ХМФ и порошковая проволока ПП-АН180МН.

2. Металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН180МН, сочетает высокую прочность, твердость и трещиностойкость. Все участки сварных соединений, выполненных данной проволокой, имеют однородную мелкодисперсную, бейнито-мартенситную структуру с равномерным распределением локальных внутренних напряжений.

1. Наплавка гребней вагонных колесных пар / Н. В. Павлов, И. Д. Козубенко, Н. Е. Бызова, А. И. Рассоха // Ж.-д. трансп. — 1993. — № 7. — С. 37–40.
2. Влияние технологических факторов на структуру и свойства металла ЗТВ при ремонтно-восстановительной наплавке гребней цельнокатаных вагонных колес / В. А. Саржевский, А. А. Гайворонский, В. Г. Гордонный, В. Ф. Горб // Автомат. сварка. — 1996. — № 3. — С. 22–27, 33.
3. Гудков А. В., Лозинский В. Н. Новые технологические и технические решения в области сварки на железнодорожном транспорте // Вест. ВНИИЖТ. — 2008. — № 6. — С. 3–9.



4. *Влияние легирования швов на структуру и свойства сварных соединений стали 17Х2М / Л. И. Маркашова, В. Д. Позняков, Т. А. Алексеенко и др. // Автомат. сварка. — 2011. — № 7. — С. 7–15.*
5. *Оценка прочности и трещиностойкости металла железнодорожных колес после длительной эксплуатации / Л. И. Маркашова, В. Д. Позняков, А. А. Гайворонский и др. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. — 2011. — № 6. — С. 73–79.*

Experimental data are given on the effect of composition of cladding consumables on formation of structure and mechanical properties of the deposited metal on wheels of steel 2. Strength properties, ductility and crack resistance of the railway wheels repaired by cladding were evaluated by the analytical methods. Cladding consumables of the bainitic or bainitic-martensitic grade were found to be most appropriate for repair of railway wheels of steel 2 by arc cladding to ensure the required combination of mechanical properties and high crack resistance of the base and deposited metals.

Поступила в редакцию 05.05.2012

## **12-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «СВАРКА-2012»**

**4–6 декабря 2012**

**г. Екатеринбург, МВЦ ЭКСПО**

**Организатор выставки:** *Выставочное общество «Уральские выставки» при поддержке Правительства Сердловской области, Администрации Екатеринбурга, Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Уральского института сварки*

### **Основные направления выставки:**

- *Оборудование и технологии для электродуговой сварки металлов*
- *Оборудование и технологии для наплавки и напыления*
- *Оборудование и технологии для плазменной, газопламенной сварки и резки*
- *Оборудование и технологии для сварки пластмасс*
- *Оборудование и технологии для производства сварочных электродов и проволок*
- *Вспомогательное сварочное оборудование*
- *Сварка в стройиндустрии*
- *Материалы для сварки, наплавки, напыления и резки*
- *Средства и методы защиты от вредных производственных факторов, промышленная вентиляция*
- *Методы обучения и повышения квалификации персонала*

**Контакты:** менеджеры проекта Рушенцева Галина и Кириллова Елена  
тел. +7(343)310-03-30, E-mail: [rushentseva@uv66.ru](mailto:rushentseva@uv66.ru), [www.uv66.ru](http://www.uv66.ru)