

УДК 621.791

**Бойко И. А.**

## **ПОВЫШЕНИЕ ГОМОГЕННОСТИ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ РУЧНОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА**

Высокомарганцовистая сталь Гадфильда уже около ста лет успешно применяется в машиностроении. Благодаря свойству наклепа рабочей поверхности при вязкой сердцевине сталь 110Г13 даже в настоящее время является фактически безальтернативной для изготовления изделий, работающих под воздействием ударных, ударно-абразивных нагрузок и высоких удельных статических давлений, например, траков гусениц тракторов, щёк дробилок, рельсовых крестовин, стрелочных переводов. Наряду с уникальными свойствами, сталь имеет довольно невысокую стоимость, поэтому ее применение имеет неоспоримые преимущества [1, 2].

Как известно, основной проблемой сварки высокомарганцовистых аустенитных сталей является их склонность к образованию горячих трещин. Причинами данного явления принято считать наличие ряда внутренних дефектов (ликвации, неметаллические включения) и большую протяженность зерен, ввиду чего скопление легкоплавких эвтектик на их границе имеет ярко выраженный характер. Для снижения вероятности образования трещин швы немедленно охлаждают непосредственно после сварки и (или) применяют наплавленный металл, имеющий аустенитно-ферритную структуру [3].

Тем не менее основным электродным материалом для ремонта и восстановления изделий из стали 110Г13 в настоящее время остаются покрытые электроды. В основном используются низкоуглеродистые электроды с легирующими системами на базе Cr-Ni (ОЗЛ-6, НИИ48Г), Cr-Mn-Ni (АНВ-2у), Cr-Mn (АНВМ-2).

Известно, что для уменьшения вероятности образования горячих трещин при РДС технологи умышленно повышают в наплавленном металле количество ферритной составляющей для уменьшения протяженности зерен, тем самым увеличивая длину линии границ зерен. На практике это заключается в значительном введении хрома (до 30%) в наплавленный металл. Однако данная мера крайне негативно влияет на различие механических свойств основного и наплавленного металла, увеличение внутренних напряжений и снижение склонности металла к самоупрочнению в результате наклепа. Одной из эффективных мер снижения величины зерен металла шва и ЗТВ является немедленное охлаждение швов водой не только по окончанию сварки или наплавки, но и во время нее, что существенно ухудшает санитарно-гигиенические условия работы и, зачастую, приводит к нарушениям техники безопасности при проведении сварочных работ [3, 4].

Снижение вредных примесей в основном металле зачастую затруднено ввиду ряда металлургических особенностей выплавки данной стали, а частичный их вывод из металла шва осуществляется за счет рафинирования ванны в результате взаимодействия кальциевых соединений шлака и расплавленного металла.

Очевидно, что успешная сварка и наплавка стали Гадфильда, как и ряда сталей аустенитного класса, является своего рода компромиссом между загрязненностью наплавленного металла вредными примесями и величиной зерен, а также гомогенностью наплавленного металла, связанной с неравномерным распределением легирующих элементов в наплавленном металле.

Проблема неравномерного распределения легирующих элементов в металле шва при наплавке высокоуглеродистых сталей в большинстве случаев связана с неравномерностью плавления электродного покрытия, которое периодически буквально «осыпается» кусками в ванну и не успевает в ней раствориться. Это связано с использованием в качестве

углеродобразующего компонента электродных покрытий графита, существенного ухудшающего плавление покрытия электрода.

Целью работы является повышение однородности наплавленного металла за счет изменения условий перехода углерода из электрода в сварочную ванну путем применения стержня электрода из углеродистой стали.

Известно, что большинство электродов, исходя из факторов наибольшей технологичности и наименьшей стоимости, имеют стержни из сталей Св-08 и Св-08А. Электроды, обеспечивающие хромоникелевый либо хромомарганцовистый аустенит, имеют стержни из стали, практически не отличающейся по химическому составу от наплавленного металла, например Св-08Х18Н9Т, Св-08Х21Н10Г6 и т.д. Существуют электроды для сварки деталей из стали Гадфильда, когда требуется получение высокой прочности и пластичности металла шва, стержень которых изготовлен из марганценикелевой стали состава: С = 0,25...0,30 %, Ni = 3...4 %; Mn = 14...16 % с покрытием следующего состава: мрамора – 55 %; плавикового шпата – 20 %, ферромарганца – 15 %; крахмала – 10 %.

Тем не менее, основным источником углерода в наплавленном металле продолжает оставаться графит покрытия, существенно затрудняющий плавление электродного покрытия. В связи с этим предложено повысить количество углерода в стержне с одновременным понижением его в покрытии без изменения среднего содержания углерода в наплавленном металле (на уровне 1...1,1%).

Для подтверждения теоретических предположений о повышении однородности наплавленного металла предложено изготовить 5 партий электродов обеспечивающих получение наплавленного металла типа 110Г13 при различном содержании углерода в электродном стержне (табл. 1).

Таблица 1

Составы электродов для наплавки стали 110Г13 со стержнями из сталей 08А, 20, 40, 60С2, У8А

Компоненты покрытия	Содержание, %				
	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4	Состав 5
Графит	5,6	5,1	4,4	3,6	2,8
Плавиковый шпат	8				
Мрамор	17				
Рутил	3				
Ферромарганец	46	46	46	46	46
Кварцевый песок	4				
Феррокремний	3	3	3	1	3
Железный порошок	1,4	1,9	2,6	5,4	4,2
Жидкое стекло (в пересчете на сухой остаток)	12				
Стержень	08А	Сталь 20	Сталь 40	Сталь 60С2	Сталь У8А

Ввиду высокого содержания легирующих элементов в наплавленном металле, коэффициент массы покрытия выбран в пределах 100...110 %. Диаметр электродного стержня – 5 мм.

Наплавка валиков в медном коробе выполнялась в два слоя на пластины из стали 65Г с предварительным подогревом на постоянном токе 200...220 А обратной полярности. Питание дуги осуществлялось инверторным выпрямителем Shyuan MMA-300. Стабильность горения дуги и разбрызгивание – удовлетворительные, формирование валиков и отделимость шлаковой корки – типичные для электродов основного типа. С увеличением углерода в составе электродного стержня в определенной степени увеличилась жидкотекучесть капель, что может способствовать снижению силы сварочного тока без предполагаемого ущерба для сварочно-технологических характеристик. Это может уменьшить тепловложение в основной металл, что является действенной мерой для избежания горячих трещин в металле шва и ЗТВ.

После наплавки валиков наиболее крупные брызги были отобраны для дальнейших исследований. Анализ химического состава брызг, проведенных на рентгеноспектральной установке Thermo scientific ARL Optim X, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав электродных брызг

Содержание элементов, %	№ состава				
	1	2	3	4	5
Углерод	<u>0,25...0,45</u> 0,3	<u>0,35...0,58</u> 0,47	<u>0,52...0,65</u> 0,59	<u>0,75...0,91</u> 0,83	<u>0,92...1,02</u> 0,97
Марганец	<u>3,2...6,8</u> 5	<u>3,4...6,9</u> 5,2	<u>4,2...7,0</u> 5,6	<u>4,8...7,1</u> 6,0	<u>5,2...7,5</u> 6,4
Кремний	<u>0,25...0,35</u> 0,3	<u>0,3...0,37</u> 0,34	<u>0,32...0,38</u> 0,35	<u>1,8...1,9</u> 1,85	<u>0,35...0,45</u> 0,4

Анализ химического состава электродных брызг показал, что увеличение содержания углерода в стержне с одновременным снижением графита в покрытии существенно влияет на однородность химического состава капель в пределах одного состава электродов, что может быть связано с более равномерным плавлением покрытия. При этом усвоение углерода и марганца на стадии капли возрастает (рис. 1–2).

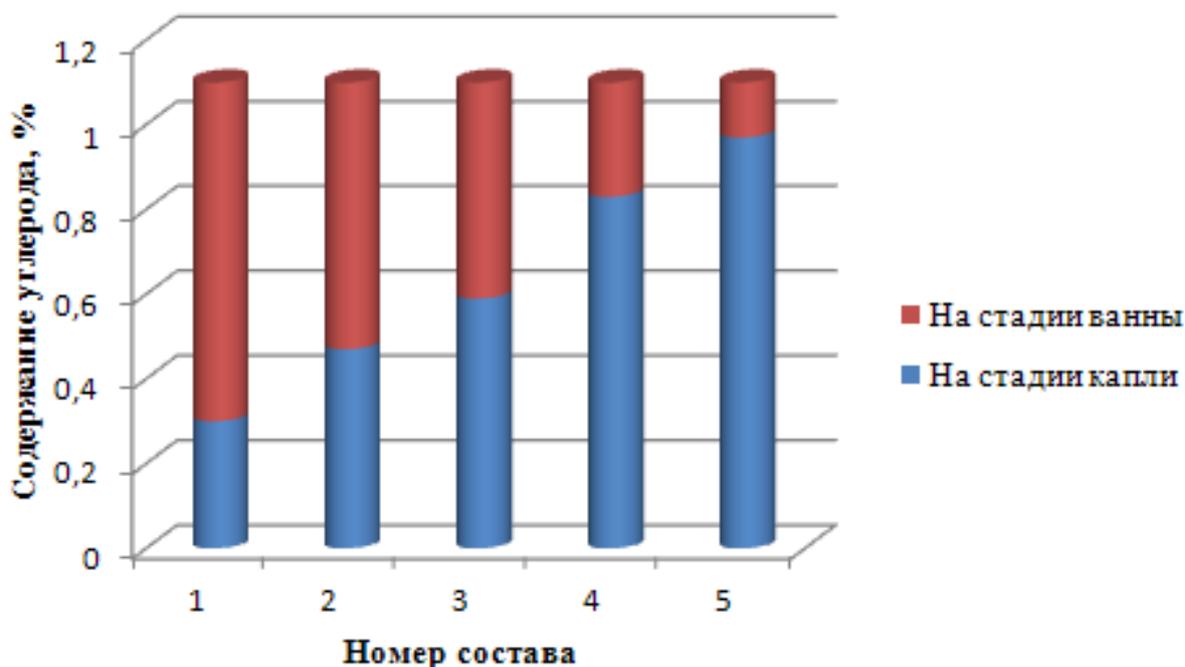


Рис. 1. Содержание углерода на стадии капли и на стадии ванны

Увеличение содержания углерода на стадии капли связано с увеличением его содержания в электродном стержне. Содержание углерода в капле при наплавке электродами состава 1 – 0,3 %, а состава 5 – 0,97 %, при том, что содержание его в наплавке – 1,1 %. Очевидно, что увеличение углерода в стержне приводит к более равномерному его распределению в металле сварочной ванны, повышению его гомогенности, выравниванию аустенитной структуры и механических свойств наплавленного металла.

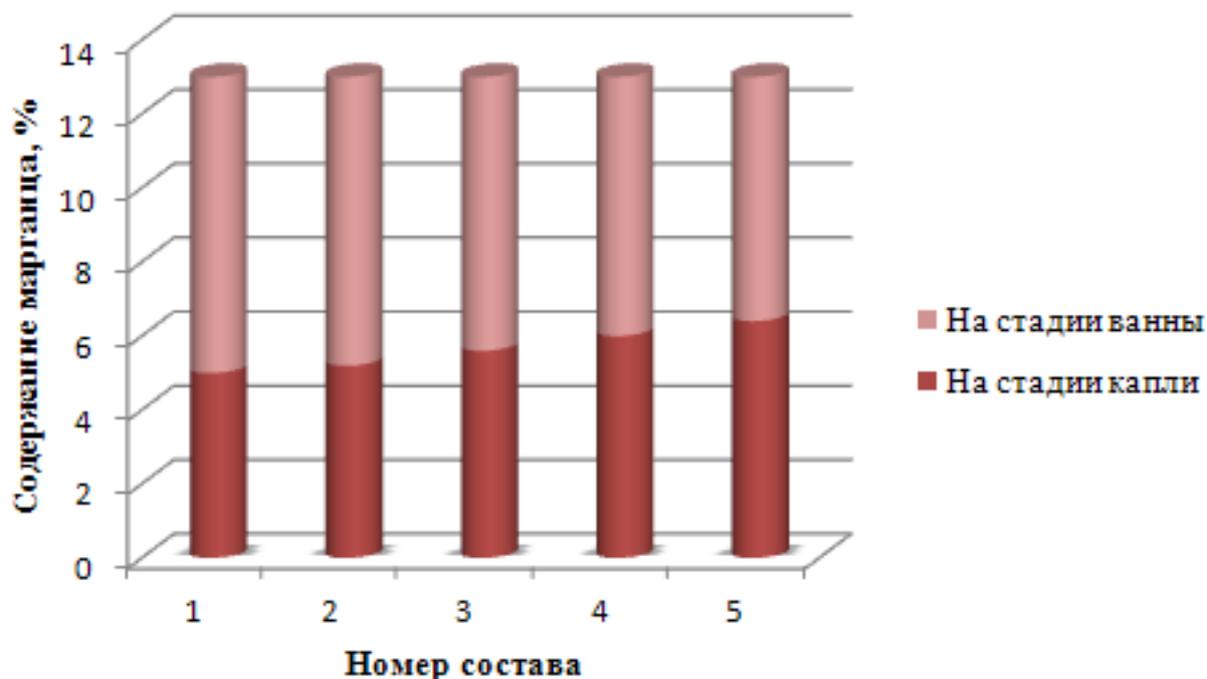


Рис. 2. Содержание марганца на стадии капли и стадии ванны

Доказательством более равномерного плавления покрытия может служить усвоение марганца на стадии капли. Учитывая, что содержание марганца в электродных стержнях (составы 1...5) приблизительно одинаково (0,2...0,35 %), увеличение содержания марганца в капле свидетельствует о более полном его усвоении из покрытия, что связано, в первую очередь, с временем взаимодействия покрытия и капли при прочих равных условиях. Это означает, что кусочки покрытия не так интенсивно осыпаются с торца электрода, что дает возможность взаимодействовать капле и покрытию на всех стадиях плавления. Среднее содержание марганца в капле (состав 1) составляет около 5%, в то время как его содержание в каплях при наплавке остальными составами электродов неуклонно растет до 6,4 %. Более того, хорошее усвоение марганца может улучшить санитарно-гигиенические показатели электродов.

Как известно, более полное легирование капли позволяет существенно улучшить показатели гомогенности наплавленного металла, что особенно важно при наплавке сталей, склонных к трещинообразованию, так как при равномерном распределении легирующих элементов уменьшаются размеры аустенитных зерен. Основными источниками зарождения трещин в аустенитной структуре являются остаточные карбиды, легкоплавкие эвтектики, оксиды марганца и различные дефекты металлургического характера (поры и шлаковые включения).

Как известно, с уменьшением величины микро- и макрозерна высокомарганцевой стали резко улучшаются ее механические свойства, хладостойкость, возрастает трещиностойчивость и износостойкость. Применение углеродистых электродных стержней позволяет максимально приблизиться к высокой трещиностойкости без введения в состав электродного металла ферритизаторов, что существенно снижает различие механических свойств основного и электродного металла. Данным требованиям должны предъявляться для наплавленного металла в тех случаях, когда наплавка или заварка дефектов литья осуществляется на рабочей части изделия (внутренняя поверхность брони рудоразмельных мельниц, конусных дробилок и др.), т.е. тех деталей или их участков, для которых важен равномерный износ рабочей поверхности.

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что с увеличением содержания углерода в электродном стержне с 0,08 % до 0,8 % содержание углерода в капле повышается с 0,3 % до 0,97 % при его содержании в наплавленном металле на уровне 1,1 %.

Усвоение марганца каплей возрастает с увеличением содержания углерода в стержне, что связано с увеличением времени взаимодействия покрытия и капли, т.к. втулка покрытия не осыпается в ванну и не оголяет торец электрода. Это достигнуто благодаря снижению количества графита в покрытии.

Применение углеродистых сталей (60С2, 65Г, 70, У8А и др.) для изготовления стержней покрытых электродов для сварки стали 110Г13 позволит улучшить показатели однородности наплавленного металла, снизить вероятность образования трещин и улучшить санитарно-гигиенические показатели.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вольнова Т.Ф. Высокомарганцовистые стали и сплавы / Т.Ф. Вольнова. – М. : Металлургия, 1988. – 343 с.*
2. *Штремель М.А. О механизме упрочнения стали Гадфильда / М.А. Штремель, И.А. Коваленко // Физика металлов и металловедение. – 1987. – Т. 63. – №3. – С. 172–180.*
3. *Бойко И.А. Самозащитная порошковая проволока для сварки и наплавки стали 110Г13Л / И. А. Бойко, А. Г. Гринь, Н. Е. Дегтяренко // Материалы 2 Международной научно-технической конференции «Сварочное производство в машиностроении: перспективы и развития». – Краматорск : ДГМА, 2010. – С. 44.*
4. *Гринь А.Г. Экономнолегированная самозащитная порошковая проволока для сварки и наплавки стали Гадфильда / А. Г. Гринь, И.А. Бойко, С.Л. Василенко / Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития: материалы 3 Международной научно-технической конференции, 2–5 октября 2012 г., под общ.ред. д-р техн наук Н. А. Макаренко. – Краматорск : ДГМА, 2012. –С. 31.*