



Прихватки располагали по периметру стыка диаметрально противоположно. Обычно их накладывали 4 шт., но с увеличением зазора в стыках — до 8 и более. Общая длина прихваток 30...60 мм, ввод-вывод тока сварки — на длине 5 мм. В случае больших зазоров выполняли повторные проходы на повышенных (на 10...15 %) токах сварки, но без сквозного проплавления стенки обечайки.

Столь значительные для ЭЛС зазоры (до 1,5 мм) при сборке обечаек в блок объясняются тем, что по условиям существующей технологии изготовления обечаек изготовитель не может обеспечить воспроизводимость диаметра обечайки, на которой выполняется кольцевой шов.

После выполнения косметического прохода литая зона шва с лицевой стороны несколько расширилась (до 6 мм). Применение повторных проходов для заполнения зазоров и косметическая обработка шва (устранение поверхностных концентраторов напряжения) приводит к увеличению размера зерна аустенита (рис. 3), однако зарождение трещин на стыке трех зерен наблюдали только после 3...4 проходов кольцевых нахлесточных соединений обечаек с превышением зазора свыше 0,15 мм.

После неоднократных проходов в процессе заварки стыков обечаек с зазорами, превышающими допустимые (таблица, режим № 3), возможно появление зародышей трещин на границе шов — основной металл (рис. 3, б). Длительность всех операций сварки блока обечаек 2...3 ч, при этом сборка-разборка 0,5...1 ч. Качество швов и производительность процесса ЭЛС выше, чем при других способах сварки плавлением, применявшихся ранее.

Выводы

1. Использование ЭЛС для сплава марки 04ХН60ВТ, размер зерна которого оказывает сильное влияние на процессы образования трещин, является наиболее оптимальным.

2. Применение ЭЛС позволяет получить минимальный размер зерна в металле ОШЗ с незначительным выделением примесей и эвтектик по границам зерен.

Welding and assembly techniques, as well as peculiarities of manufacturing a serviceable unit, i.e. block of shells for output circuit of a gas turbine combustion chamber, are described. Advantages of electron beam welding used to manufacture parts of heat-resistant nickel-base alloy 04KhN60VT over argon-arc and manual arc welding are shown.

Поступила в редакцию 03.06.2003

УДК 621.791.75.042-492

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ СВАРКИ И ЗАВАРКИ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ СТАЛИ 110Г13Л

Л. Н. ОРЛОВ, канд. техн. наук, А. А. ГОЛЯКЕВИЧ, инж. (ООО «ТМ. ВЕЛТЕК», г. Киев),
Д. П. НОВИКОВА, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. Н. ПЕЛЕНКО, В. В. СИМОНЕНКО, инженеры (Криворож. центральный рудный завод)

Отмечена неудовлетворительная свариваемость стали 110Г13Л, усугубляемая ростом тепловложения. Описаны разработанные в различное время электроды для сварки стали Гадфильда и ее разнородных соединений. Дана характеристика разработанных ТМ.Велтек порошковых проволок Велтек-Н200у и Велтек-210у применительно к заварке литья стали 110Г13Л и сварке разнородных соединений этой стали со сталью 20ГСЛ.

Ключевые слова: дуговая сварка, сталь Гадфильда, разнородные соединения, свариваемость, порошковые проволоки

Высокомарганцовистая сталь 110Г13Л, благодаря высокой способности к деформационному упрочнению марганцовистого аустенита [1, 2], находит широкое применение для изготовления изделий, работающих под воздействием ударных, ударно-абразивных нагрузок и высоких удельных статических давлений. Сталь 110Г13Л обладает плохой свариваемостью в связи с развитием процессов разупрочнения, охрупчивания и образования горячих трещин в металле ЗТВ под влиянием термического

цикла сварки. При этом наблюдается перераспределение легирующих элементов в зоне сплавления, формирование хрупких прослоек и трансформация структуры металла ЗТВ, выпадение карбидов и легкоплавких эвтектик по границам зерен. Превышение оптимальных значений тепловложения приводит к увеличению толщины разупрочненного слоя металла ЗТВ, что создает трудности при заварке литейных дефектов, наплавке изношенных поверхностей и сварке соединений из разнородных сталей (110Г13Л + 35ГЛ, 110Г13Л + 20ГСЛ). При определенных концентрациях углерода и марганца особенности протекания диффузионных процессов в высокомарганцовистых сталях проявляются в нестабильности аустенита, выпадении по гра-

1. Землин В. Н. Жаропрочность сварных соединений. — Л.: Машиностроение, 1972. — 272 с.
2. Морочко В. П., Зорин Н. Я. Характер и причины образования трещин при однопроходной электронно-лучевой сварке никелевых сплавов // V Всесоюз. конф. по электронно-лучевой сварке, 1977. — С. 66–75.
3. Морочко В. П., Федоров Б. М., Андреев В. Д. Сопоставление лазерной, электронно-лучевой и аргодуговой сварки жаропрочного никелевого сплава ХН68ВМТЮК // Свароч. пр-во. — 1985. — С. 13–16.
4. Superalloys II / Ch. T. Sims et al. — John Wiley @ Sons, 1987. — 615 p.
5. Anik S., Dorn L. Metallphysikalische Vorgaenge beim Schweißen von Nickelwerkstoffen- Einfluss der Werkstoffzusammensetzung // Schweissen und Schneiden. — 1983. — № 9. — P. 445–450.
6. Некоторые закономерности образования горячих трещин при сварке литых жаропрочных никелевых сплавов / В. С. Савченко, К. А. Ющенко, Н. И. Саволой, Ю. Д. Панфилов // Автомат. сварка. — 1993. — № 3. — С. 13–16.
7. Савченко В. С., Ющенко К. А., Саволой Н. И. Влияние скорости деформации на склонность стабильноаустенитных швов к образованию горячих трещин в низкотемпературном интервале хрупкости // Там же. — 1987. — № 10. — С. 9–12.
8. Стойкость сварных соединений жаропрочного никелевого сплава типа хастеллой Н против образования горячих трещин / К. А. Ющенко, В. Н. Липодаев, М. В. Бельчук и др. // Там же. — 1986. — № 9. — С. 10–12.
9. Квасницкий В. Ф. Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении // Там же. — 1985. — № 10. — С. 26–30.
10. Сливинский А. А., Файт П. Структура и свойства сварных соединений жаропрочного сплава на основе никеля // Там же. — 2003. — № 5. — С. 7–13.

© Л. Н. Орлов, А. А. Голякевич, Д. П. Новикова, В. Н. Пеленко, В. В. Симоненко, 2004

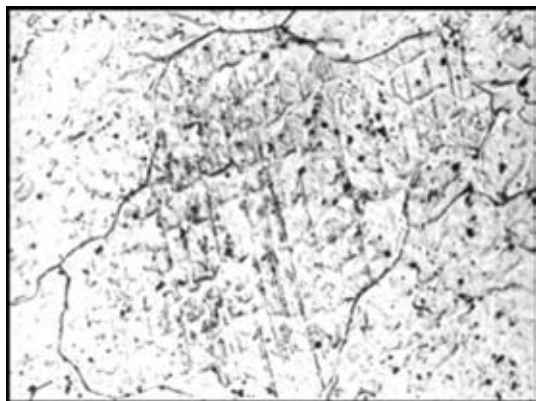
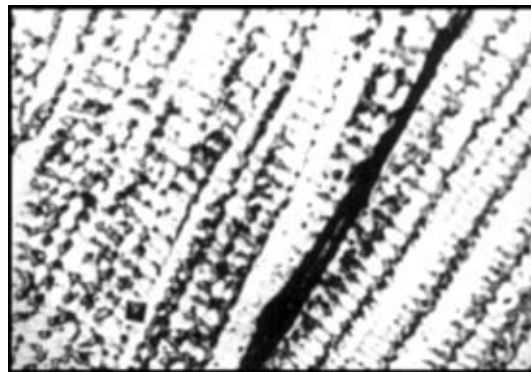
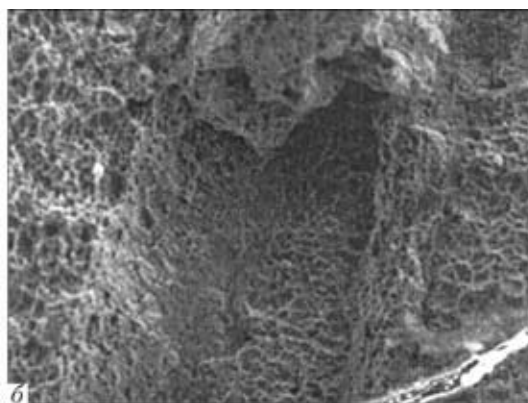
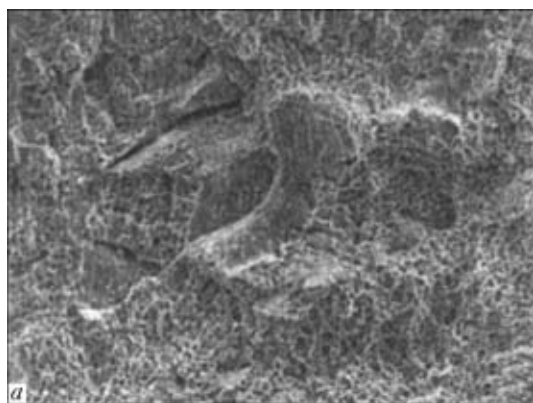
Рис. 1. Микроструктура металла шва, выполненного порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н220у, $\times 320$ 

Рис. 2. Подсолидусная горячая трещина в металле шва с системой легирования Fe-Mn-Cr

Рис. 3. Поверхность разрушения образцов при температуре испытания $+20^\circ\text{C}$ на разрыв (а), $\times 320$ и ударный изгиб (б), $\times 400$

ницам зерен карбидов и формировании трехфазной структуры ($\gamma + \alpha + \epsilon$) [1–6]. Карбидная фаза характеризуется как отдельными дисперсными выделениями, так и сплошными прослойками по границам зерен с различным содержанием легирующих элементов и их соотношением [1, 2, 7, 8].

В настоящее время существует гамма сварочных материалов для сварки и заварки дефектов литья стали 110Г13Л, а также сварки ее с перлитными сталями 20ГЛ и 35ГЛ [8–10]. Для сварки ответственных изделий рекомендуется применение дорогостоящих низкоуглеродистых электродов с системами легирования на базе Fe-Cr-Ni (ОЗЛ-6, НИИ48Г), Fe-Cr-Mn-Ni (АНВ-27), Fe-Cr-Mn (АНВМ-2). В последние годы разработаны экономнолегированные высокомарганцевые электроды (АНВМ-1) [6, 10, 11].

Предприятием ТМ.ВЕЛТЕК выполнен комплекс работ по созданию экономнолегированных порошковых проволок для механизированной заварки дефектов литья высокомарганцевистых сталей и сварки их с перлитными сталями. В процессе разработки реализованы последние достижения в области металлургии производства и сварки высокомарганцевистой стали. Особое внимание уделено снижению содержания и нейтрализации вредных примесей (S, P, O) в металле сварного шва. Реализация комплексного раскисления металла на стадии капли и ванны предупреждает образование по границам зерен легкоплавких эвтектик и железомарганцевых оксидных пленок $(\text{MnO})_m (\text{FeO})_n$ [2]. Для заварки дефектов литья стали 110Г13Л разработана самозащитная порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н220у $\varnothing 2,0...2,4$ мм, обеспечивающая получение высокомарганцевистого наплавленного металла с высокой стабильностью аустенита. Применение активных десульфураторов в сочетании с основным шлаком обеспечивает достаточно низкое содержание вредных примесей ($S \leq 0,01\%$ и $P \leq 0,016\%$) в наплавленном металле. Комплексное легирование марганцем, титаном, ванадием, молибденом и другими легирующими элементами позволяет реализовать структуру аустенита, упрочненную дисперсными карбидами [1, 5]. В теле зерна наблюдается сетка полигонизационных границ (рис. 1). Глобулярные немагнитические включения диаметром $0,5...2,0$ мкм равномерно распределены в металле и представляют собой сложные оксисульфиды. Металл сварного шва обладает приемлемыми механическими свойствами: $\sigma_b = 680...800$ МПа, $\sigma_T =$

$400...500$ МПа, $\delta = 24...30\%$, $KCV = 100...130$ Дж/см² при $+20^\circ\text{C}$. Заварка дефектов литья стали 110Г13Л реализована с применением стандартной технологии.

Применительно к сварке разнородных сталей (110Г13Л + 35Л), (110Г13Л + 20ГСЛ) разработана самозащитная порошковая проволока ВЕЛТЕК-210у $\varnothing 2,4...2,6$ мм с системой легирования Fe-Cr-Mn. Для получения устойчивой аустенитной структуры оптимизировано содержание марганца, хрома, углерода и азота [12]. В металле зоны сплавления и сварного шва не обнаружены обособленные крупные карбиды, цепочки или прослойки карбидов по границам зерен, дисперсные карбиды и карбонитриды равномерно распределены в теле зерна и по границам зерен. При повышенном тепловложении возможно образование подсолидусных горячих трещин (рис. 2). Механические свойства металла шва: $\sigma_b = 680...800$ МПа, $\sigma_T = 500...600$ МПа, $\delta = 28...36\%$, $KCV = 120...150$ Дж/см² при $+20^\circ\text{C}$. В зоне сплавления с перлитной сталью хрупкие прослойки не обнаружены. Фрактографический анализ изломов образцов металла швов, выполненных порошковыми проволоками ВЕЛТЕК-210у и ВЕЛТЕК-220у, показал, что в обоих случаях характерно вязкое разрушение по механизму слияния пор независимо от вида испытания (рис. 3, а, б).

Новые порошковые проволоки имеют хорошие сварочно-технологические характеристики: стабильное горение дуги, значительное разбрызгивание электродного металла, легкую отделимость шлаковой корки даже в глубокой разделке кромок, хороший внешний вид поверхности шва. По сравнению с аналогами на 30 % ниже содержание оксидов марганца в сварочном аэрозоле. Коэффициент использования проволоки находится в пределах $K_{пр} = 1,15...1,2$. В процессе контроля качества сварных соединений дефекты в виде пористости и трещин в наплавленном металле и сварном соединении не обнаружены. Порошковые проволоки ВЕЛТЕК-210Г и ВЕЛТЕК-Н220Г успешно применяются на Криворожском центральном рудном заводе (г. Кривой Рог) при производстве ответственных конструкций.

1. Гудремон Э. Специальные стали. — М.: ГНТИ литературы по черной металлургии, 1959. — Т.1, 962 с.



2. Житнов С. В., Давыдов Н. Г., Братчиков С. Г. Высокомарганцовистые стали. — М.: Металлургия, 1995. — 302 с.
3. Морозовская Е. Н. Структура околосшовной зоны при наплавке на сталь Г13Л // Автомат. сварка. — 1967. — № 7. — С. 57–59.
4. Готальский Ю. Н. К проблеме сварки разнородных сталей в конструкциях, длительно работающих при высокой температуре // Там же. — 1964. — № 12. — С. 38–45.
5. Кондратюк С. Е., Касаткин О. Г. Разрушение литой марганцовистой стали. — Киев: Наук. думка, 1987. — 148 с.
6. Новые материалы для сварки сталей 110Г13Л и 30Г / В. Н. Липодаев, Н. И. Каховский, В. С. Фельдман и др. // Автомат. сварка. — 1977. — № 9. — С. 71–73.
7. Малинов Л. С., Харламова Е. Я. Влияние легирования и предварительной деформации на фазовый состав и механические свойства сплавов Fe-Mn // Металлы. — 1981. — № 6. — С. 141–147.
8. Березовский А. В., Бармин Л. Н., Шумяков В. И. Влияние состава электродного материала на свойства сварных соединений стали 110Г13Л // Свароч. пр-во. — 1987. — № 7. — С. 26–27.
9. Новые электроды для сварки и наплавки стали 110Г13Л / В. В. Снисарь, Э. Л. Демченко, О. И. Бреднев и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 5. — С. 47–49.
10. Сварочные материалы для сварки сталей и чугуна (электроды, флюсы и проволоки) / В. Н. Горпенюк, П. В. Игнатченко, С. С. Меличенко и др.: Справочник. — Киев, 1994. — 622 с.
11. Чейлях А. П., Малинов Л. С. Свойства и превращения в хромомарганцевых коррозионно-стойких сталях // Металловед. и термическая обработка матер. — 1994. — № 2. — С. 28–32.
12. Разиков М. И., Кочева Г. Н., Толстых Л. Г. Структурная диаграмма металла шва на хромомарганцовистых сталях // Автомат. сварка. — 1968. — № 4. — С. 1–5.

Poor weldability of steel 110G13L, caused by a growth in heat input, is outlined. Electrodes, developed at different periods of time for welding Hadfield steel and its dissimilar joints, are described. Characteristic of developed TM Weltech flux-cored wires Weltech-H200U and Weltech-210U relative to welding-up of 110G13L steel castings and welding of dissimilar joints of this steel with steel 20GSL is given.

Поступила в редакцию 23.07.2003

Информация пресс-службы ИЭС

ЕВРОПЕЙСКАЯ ПРОГРАММА NOMAD ПО СОЗДАНИЮ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СВАРКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Программа NOMAD — одна из пяти международных программ, которые выполняются в рамках Европейской комиссии. Целью программы является создание роботизированных сварочных производственных ячеек нового поколения. Основное отличие создаваемых ячеек от уже существующих состоит в том, что сварочный робот, установленный на специальной тележке, может свободно перемещаться внутри ячейки и производить сварку различных конструкций в соответствии с заданной программой. На тележке, кроме робота, размещается все необходимое оборудование для сварки МАГ, а также блоки управления процессом сварки и перемещением тележки (рис. 1). Тележка, являющаяся по сути робокаром, может производить внутри ячейки сварку индивидуальных конструкций массой до 50 т с производительностью, присущей в настоящее время крупносерийному производству.

Навигационная система робокара обнаруживает конструкцию, подлежащую сварке, определяет ее положение внутри ячейки и управляет перемещением робокара в рабочее положение. С помощью базы данных блок управления процессом сварки распознает геометрическую форму свариваемого изделия, расположение и геометрические размеры сварных швов и передает параметры технологии сварки конструкции сварочному роботу (рис. 2).

В настоящее время разрабатываются электронные модели для сварки двух изделий: фрагмента моста для фирмы «Nusteel Structures» и стрелы экскаватора фирмы «Caterpillar». В стадии конструирования находится тележка робокара. В заключение проекта на одном из предприятий «Caterpillar» будет смонтирована демонстрационная производственная роботизированная сварочная ячейка нового поколения.

В проекте участвуют: Бельгия (фирма «Caterpillar»); Великобритания (Британский институт сварки); Германия (Франкфуртский институт и фирмы «Reis»); Финляндия (фирма «Delfoi»); Франция (фирма «Robosoft»); Швеция (фирма ESAB). Срок выполнения проекта — 3,5 года; стоимость — 4,8 млн евро, из которых 50 % финансируется Европейской комиссией и 50 % — партнерами проекта.



Рис. 1. Тележка-робокар с размещенным на ней роботом, сварочным оборудованием и системами управления

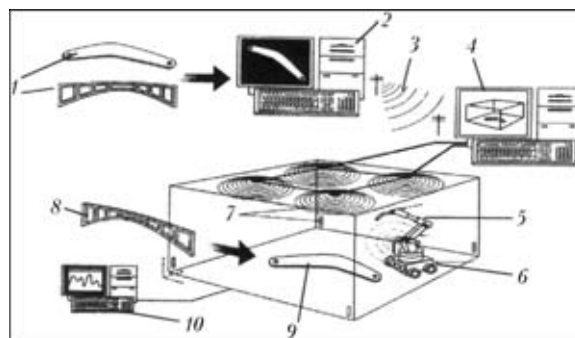


Рис. 2. Основные элементы роботизированной ячейки для высокопроизводительной сварки: 1 — блок разработки технических требований к изделию; 2 — блок электронного проектирования технологии сварки изделий; 3 — линии передачи данных; 4 — блок управления процессом сварки и перемещением тележки; 5 — рука робота; 6 — тележка; 7 — навигационная система; 8 — деталь, подготовленная для сварки; 9 — деталь в процессе сварки; 10 — блок автоматизированного контроля процесса

И. А. Рябцев