

УДК 627. 791
К 63

ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВАРКИ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ

В.В. Квасницкий¹, В.Ф. Квасницкий², П.Л. Петренко³

Рассмотрены проблемы испарения Mn и образования трещин в сварных соединениях и разработанная технология заварки дефектов отливок из стали 110Г13Л.

Ключевые слова: дуговая сварка, испарение, трещины, дефекты отливок, технология заварки.

Постановка проблемы. Высоколегированные аустенитные стали широко используются в машиностроении, энергетике, транспорте, химической, нефтехимической и других отраслях промышленности для изготовления сварных конструкций, работающих в тяжелых условиях совместного воздействия знакопеременных нагрузок и агрессивных сред или высоких температур, ударного нагружения, интенсивного износа и т.д. [1]. Объемы их использования в мире ежегодно растут. Для снижения стоимости этих сталей никель заменяют марганцем, например, в сталях 110Г13Л, 03Х13АГ19, 10Х13Г18Д, 10Х14АГ15 и др.

Анализ последних работ [2,3] показывает, что проблемы сварки этих сталей изучены недостаточно. Известная с 1892 г. высокомарганцовистая аустенитная сталь Гадфильда обычно используется в виде отливок деталей, работающих на износ в условиях трения, удара, высоких давлений, в частности крестовин и сердечников стрелочных переводов железнодорожных магистралей и трамвайных путей, щек дробилок, траков гусеничных машин, коронок землеройных машин и других изделий. Особенностью высокомарганцовистых сталей является интенсивное упрочнение при пластическом деформировании, что делает их твердыми и износостойкими, а

также основным конструкционным материалом при изготовлении перечисленных выше деталей. Упрочнение сталей обусловлено наклепом и выделением так называемого деформационного мартенсита.

Изготавливаемая в настоящее время по ГОСТ 7370-98 сталь 110Г13Л имеет следующий химический состав (% , мас.): (1,0...1,2) С;

¹ © Квасницкий В.В., д.т.н., проф., Национальный университет кораблестроения.

² © Квасницкий В.Ф., д.т.н., проф., Национальный университет кораблестроения

³ © Петренко П.Л., инж., ООО Сервисный центр „Металлург”.

(11,5...16,5) Mn; (0,3...0,9) Si; до 0,09 P, до 0,02 S. В зависимости от используемой шихты и технологии выплавки изменяются механические свойства стали. В соответствии с этим ГОСТ 7370-98 выделяет 3 группы качества отливок. В процессе изготовления деталей возникает ряд дефектов, что существенно влияет на выход годного литья и стоимость деталей. Во многих случаях эффективность литейной технологии производства деталей можно повысить путем заварки дефектов. Поэтому решение проблем сварки при исправлении дефектов литья так же **актуально**, как и при сварке листов стали 10X13Г18Д в конструкциях изделий и аппаратов продовольственного и торгового машиностроения, бытовой техники, вагоностроения, теплообменников и так далее [2,4].

Цель данной работы – исследование проблем сварки высокомарганцовистых аустенитных сталей и разработка технологии исправления дефектов литья из стали 110Г13Л.

Изложение основного материала. Общей особенностью сталей 110Г13Л, 10X13Г18Д, 10X14АГ15, 03X13АГ19 является обеспечение их аустенитной структуры за счет марганца. Поскольку марганец, как аустенизатор, в два раза слабее никеля, то его вводят соответственно больше (13 – 19 %). Известно [4], что марганец является летучим элементом и чем выше концентрация, тем больше его упругость пара и потери за счет испарения. Поэтому первой проблемой сварки высокомарганцовистых сталей является обеспечение необходимой концентрации марганца в шве, а также требуемых санитарно-гигиенических условий работы сварщика. Расчет ожидаемого состава расплавленного металла стали 110Г13Л в условиях электродуговой сварки в аргоне (при открытой поверхности сварочной ванны) проводили согласно работ [5, 6]. Давление насыщенного пара элементов над раствором определяли с учетом коэффициентов их активности в растворе железа. Так как в процессе испарения концентрация элементов в сварочной ванне изменяется, то скорость испарения элементов за время пребывания сварочной ванны в жидком состоянии также изменяется. Поэтому ее определяли методом численного интегрирования уравнения Лэнгмюра. Для этого время пребывания металла в жидком состоянии разбивали на малые промежутки времени, в которых изменение концентрации элементов было незначительным. Рассчитав суммарные потери каждого элемента при заданной площади и времени испарения, определяли концентрации элементов в закристаллизовавшемся металле. Поскольку дефекты литья имеют различную площадь, то величину поверхности и время испарения изменяли, приняв их максимальные значения соответственно 2,9 см² и 6 с.

Расчеты показали, что наибольшее давление насыщенного пара над расплавом стали 110Г13Л в интервале температур от 1540 до 2500 °С имеет марганец, затем идут железо, кремний и намного меньшее – углерод. Ско-

рость испарения марганца выше чем железа в интервале 1540...2250 °С, при 2250° за счет уменьшения в расплаве концентрации марганца его скорость испарения становится одинаковой со скоростью испарения железа. Скорость испарения кремния и углерода во всем интервале температур очень низкая по сравнению с марганцем и железом. Следует отметить, что концентрация марганца в парах близка к 99 % при температуре плавления железа и медленно снижается до 94 % при 2250 °С. Расчетами и экспериментально установлено, что в расплаве концентрация марганца резко падает в течение нескольких секунд как в головной, так и в хвостовой частях ванны. Снижение концентрации тем больше, чем больше поверхность испарения и температура, а также меньше глубина сварочной ванны. Сварка электродами показала, что слой шлака препятствует испарению марганца. Например, при сварке стали 110Г13Л электродами НИИ-48Г содержание марганца по площади шва находится в пределах (9,25...9,82) %.

Таким образом, по результатам исследований процессов испарения видно, что электродуговая сварка в защитных газах при исправлении дефектов литья из стали 110Г13Л приводит к интенсивному испарению марганца, что ухудшает условия работы сварщика и существенно изменяет состав металла шва. С другой стороны этот способ исправления дефектов литья обеспечивает хорошую видимость зоны сварки и формирования шва. Кроме того, механизированная сварка плавящимся электродом имеет более высокую производительность по сравнению со сваркой штучными электродами. Поэтому механизированная сварка представляется перспективной, но с использованием порошковых проволок, обеспечивающих шлаковое покрытие сварочной ванны, которое предотвращает испарение марганца. Учитывая положительное влияние повышенной концентрации углерода при сварке всех аустенитных сталей оболочка проволоки может содержать (0,5...0,6) % углерода. Вероятно, предпочтительнее порошковые проволоки рутил – органического типа.

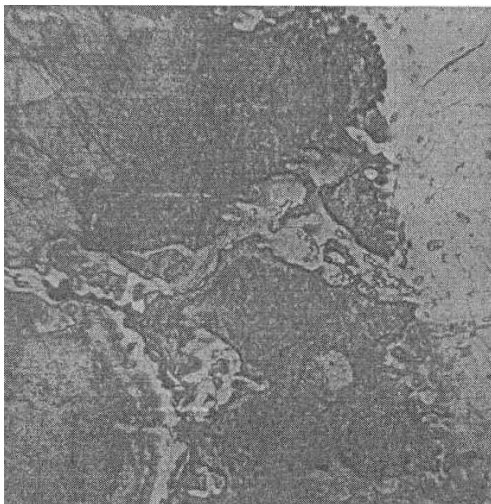
В связи с отсутствием таких проволок для заварки дефектов литья исследовали электроды НИИ-48Г с электродным стержнем 10Х20Н9Г6С, 03Л-6 со стержнем 10Х25Н13Г2 и 03Н-6 со стержнем 90Х4Г2С3Р.

По результатам предварительных исследований выбраны электроды НИИ-48Г, обеспечивающие химический состав аустенитного металла наплавки более близкий к основному металлу по марганцу (8,5 %), а также 14,7 % Сг и 7,53 % Ni с твердостью HB = 3200 МПа. Структура металла шва показана на рис. 1.

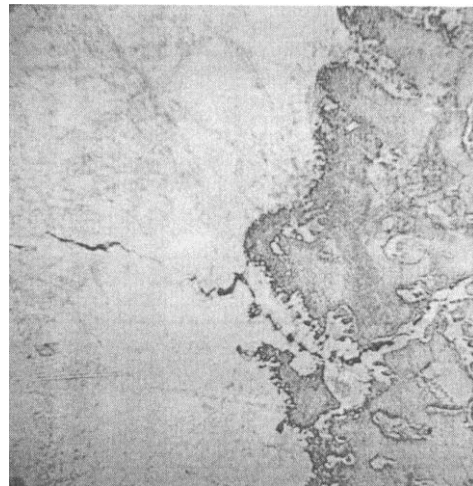
Согласно диаграмме Шеффлера сталь 110Г13Л имеет однофазную аустенитную структуру. Оновным металлургическим дефектом сварных соединений стали являются горячие трещины, предотвращение которых – главная проблема сварки и наплавки [7]. Горячие трещины образуются в зоне термического влияния (рис. 2, а) и переходят в сварной шов (рис. 2, б).



Рис. 1. Структура металла, наплавленного электродами НИИ-48Г; х 60



а



б

Рис. 2 – Горячие трещины в зоне термического влияния (*а*, х500), а также переходящие в металл шва (*б*, х250); при печати уменьшено в 1,5 раза

Околошовные горячие трещины образуются на расстоянии одного-нескольких зерен от шва. Из рис. 2 видно, что трещины образуются по подплавленным границам зерен. Механизм образования и средства предотвращения горячих трещин в чисто аустенитных сталях с пояснением роли каждого из легирующих элементов рассмотрен в работе [7], в которой

предложены чисто сварочные средства, связанные с химическим составом и пластичностью металла шва в температурном интервале хрупкости и темпом нарастания в этом интервале растягивающих напряжений, а также металлургические, связанные с чистотой основного металла по легкоплавким соединениям, газам, качеством металла по структуре, влиянием разности зернистости и сепрегаций.

В отличие от хромоникелевых стабильноаустенитных сталей, при сварке аустенитных высокомарганцовистых сталей существует опасность образования холодных трещин, обусловленная деформационным мартенситом.

Предложенные в работе [7] средства использованы в данной работе, начиная с подготовки шихты и обеспечения высокой степени дефосфорации при выплавке. Это позволило получать к концу окислительного периода металл с низким содержанием фосфора. Принимаются меры по снижению в металле концентраций азота и водорода, не допускается применение в производстве пористых чугунов и ферросплавов и т.д. Регламентированный режим раскисления металла в ковше алюминием позволяет повысить механические свойства металла на 8..10 %.

При исправлении дефектов литья использовали также чисто сварочные средства предотвращения горячих трещин, которые включены в технологию и позволили получить качественные соединения с применением электродов НИИ-48Г. Их микроструктура показана на рис. 3.

При разработке технологии исправления дефектов литья предварительно была проведена классификация дефектов. К разновидностям дефектов отливок отнесены несоответствие по геометрии, дефекты поверхности, несплошности в теле отливки, включения, несоответствия структуры. Следует отметить, что на ряд ответственных отливок общего машиностроения существуют специальные стандарты, устанавливающие допустимые нормы по дефектности отливок. Анализ дефектов литья из стали 110Г13Л показал, что наиболее распространенными являются раковины и трещины, реже встречаются недоливы.

Технология исправления дефектов литья включает подготовку изделий, начиная с выбивки отливок из опок, затем предварительная очистка от формовочной смеси, стержней и стержневых каркасов, термическая обработка, удаление литников, прибылей, заливок и контроль качества отливки.

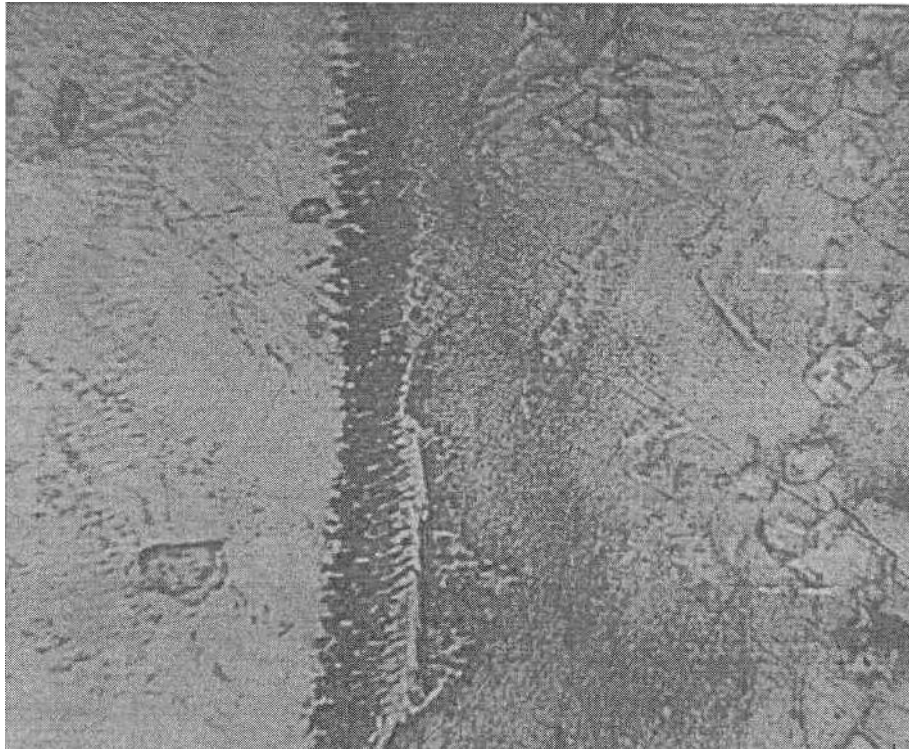


Рис. 3. Микроструктура металла в зоне сплавления стали 110Г13Л со швом при сварке электродами НИИ-48Г; x500

При термообработке отливки делятся на 3 группы: первая группа – отливки с толщиной стенки до 50 мм простой конфигурации, вторая группа – отливки с толщиной стенки до 50 мм сложной конфигурации и с толщиной стенки до 100 мм простой конфигурации, третья группа – отливки толщиной стенки более 100 мм, сложной конфигурации, с резкими переходами сечений.

Загрузка в печь отливок первой группы производится при температуре не выше 400 °С, а второй и третьей – не выше 300 °С с последующей выдержкой при температуре загрузки 2 часа. Затем отливки нагреваются до 700°С с выдержкой 3 часа отливок первой и второй групп и 4 часа отливок третьей группы. Затем отливки нагреваются до 1050...1100 °С с выдержкой 3 часа отливок первой группы и 5 часов отливок второй и третьей групп. После этого проводится закалка в холодной проточной воде до полного охлаждения. Продолжительность подачи отливок из печи в закалочный бак не должна превышать 3 минуты во избежание подстуживания металла.

Режим термической обработки должен жестко контролироваться, так как благоприятную аустенитную структуру, высокую пластичность и ударную вязкость сталь имеет после резкой закалки в воде от температуры 1050...1100°C.

Удаление прибылей и литников, подготовка и заварка дефектов отливок производятся только после термической обработки. Дефектные места разделяют до полного удаления и обеспечения провара. Угол скоса кромок при разделке дефектов не должен быть менее 15° на сторону, без углов и заусенцев. Металл отливки вокруг разделанного дефекта очищают от пригара, ржавчины и жировых загрязнений на ширину не менее 20мм.

Способ разделки дефектов выбирают в зависимости от места расположения и характера дефекта. При использовании тепловых методов поверхность обработки зачищают с помощью абразивного инструмента. Концы трещины рассверливают на всю глубину сверлом диаметром 5...8 мм, а затем разделяют трещину по длине, превышающей длину трещины на 30...40 мм с обоих концов.

Сталь 110Г13Л очень чувствительна к температуре нагрева и скорости охлаждения. При нагреве до 300...400°C она значительно теряет пластичность. При нагреве до 650 °C и выше, а также при замедленном охлаждении от высоких температур по границам аустенитных зерен выделяются железомарганцевые карбиды, а обедненный углеродом аустенит частично переходит в мартенсит, что приводит к еще большей потере металлом вязкости и пластичности. Поэтому наплавку следует производить при малой погонной энергии. Поперечное сечение валиков наплавки не должно превышать 0,25 см². Наплавку проводят с перерывами для охлаждения стали. Лучше при наплавке деталь погружать в проточную водяную ванну, оставляя на поверхности только наплавляемую часть детали. Наилучшие результаты дают последующий нагрев и закалка детали в воде от температуры 1000...1050 °C.

Количество слоев наплавки определяется глубиной дефекта. При многослойной наплавке проводят проковку в горячем состоянии каждого валика, кроме последнего. Наплавка раковин глубиной до 5 мм производится в один слой при ширине валика не более 10 мм. Во избежание перегрева наплавку выполняют с разбивкой поверхности раковины на участки. Наплавку раковин глубиной свыше 5 мм производят в два слоя, свыше 10 мм – в два этапа: первый этап – наплавка ванным способом подслоя, высота которого зависит от глубины дефекта; второй этап – износостойкая наплавка в два слоя, причем второй слой выполняется перпендикулярно предыдущему. Для заварки дефектов применяются только электроды НИИ-48Г.

Наплавка недоливов, торцов отливки, деталей сложной формы во избежание стекания наплавленного металла необходима соответствующая формовка.

Разработанная технология исправления дефектов позволяет существенно повысить эффективность литейного производства.

Выводы

1. Проблемы сварки высокомарганцовистых аустенитных сталей связаны с высокой летучестью марганца и образованием трещин в сварном соединении. Разработка технологии заварки дефектов литья с применением электродов НИИ-48Г позволила решить указанные проблемы.
2. Одним из путей совершенствования технологии и повышения производительности сварки является создание порошковых проволок, например, рутил-органического типа, с оболочкой, содержащей 0,5...0,6 % углерода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев В.К., Кучук-Яценко С.И., Квасницкий В.Ф. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-IV. Технология сварки, пайки и резки / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 2006. – 768 с.
2. Гедрович А.И., Ткаченко А.Н., Ткаченко С.А. и др. Особенности формирования структуры и свойств зоны сплавления стали 10X13Г18Д // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4. – С. 23 – 27.
3. Гедрович А.И., Ткаченко С.А., Каленская А.В. Выбор проволоки для дуговой механизированной сварки однородных и разнородных соединений стали 10X13Г18Д // Автоматическая сварка. – 2008 – № 1. – С. 37 – 39.
4. Гедрович А.И., Гальцов И.А., Житков А.Б., Ткаченко А.Н. Сварка аустенитной стали 10X13Г18ДУ при изготовлении дизель- и электропоездов на ХК „Лугансктепловоз” // Сварщик. – 2002. – № 6. – С. 10 – 11.
5. Кох Б.А. Основы термодинамики металлургических процессов сварки. – Л.: Судостроение, 1975. – 240 с.
6. Квасницкий В.Ф., Дорошенко М.Н., Костин А.М. Расчеты на ЭВМ физико-металлургических процессов сварки. – Николаев: НКИ, 1991. – 44 с.
7. Медовар Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1968. – 430 с.

Рукопись поступила в редакцию 19.10.2012 г.