М 336619

НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

- . -

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

ФИРСОВА Роза Ивановна

На правах рукописи

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

(Специальность 05.04.05 – Технология и машины сварочного производства)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1979

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

ФИРСОВА Роза Ивановна

На правах рукописи

Р336619 ф

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

(Специальность 05.04.05 – Технология и машины сварочного производства)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1336619
Фирсова Р.И. Разработка сп

Москва 1979

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Б.Ф.Якушин

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.С.Игнатьева

кандидат технических наук, доцент Ю.В.Субботин

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Защита диссертации состоится " "_____1978 года на заседании Совета Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана по адресу: Москва, I07005, 2-я Бауманская ул.,5.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экз., заверенные печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан " "_____ 1978 года.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА В.ЯМПОЛЬСКИЙ

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

Л-73343 Заказ Объем I п.л. Тираж I00 экз.

Ротапринт МВТУ I07005,Москва,Б-5,2-я Бауманская, д.5

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Применение высокопрочных сталей в различных отраслях народного хозяйства при производстве сварных конструкций является одним из важных направлений технического прогресса. Однако высокая склонность этих сталей к образованию трещин при сварке ограничивает их использование для сварных конструкций. Существенное влияние на возникновение трещин в сварном соединении оказывают технологические факторы: исходная температура заготовок, степень их закрепления, а также способ и режим сварки. В этой связи при сварке сталей с ограниченной свариваемостью рекомендуется применять подогрев, а также малопроизводительные способы и режимы сварки. Эти рекомендации, как правило, базируются на данных, которые не систематизированы, а в ряде случаев и противоречивы. Отсутствие четко обоснованных рекомендаций приводит к непроизводительным затратам: снижению производительности, а иногда и к ухудшению качества. В этих условиях актуальны исследования влияния комплекса технологических факторов на склонность к образованию горячих трещин сталей с пониженной свариваемостью, позволяющие перейти к их научно-обоснованному выбору, который обусловливает предотвращение трещин наряду с повышением производительности и уровня автоматизации процесса сварки.

Цель исследований. Целью настоящей работы являлось выявление технологических факторов, наиболее эффективно повышающих стойкость против горячих трещин высокопрочных сталей при дуговой сварке.

Методы исследования. Исследование влияния технологических факторов (подогрева, состава защитной газовой среды и дополнительного присадочного материала) на склонность металла шва к образованию горячих трещин при сварке проводилось экспериментальным путем, для чего были усовершенствованы количественные методики и разработана аппаратура, позволившие изучить влияние этих факторов как на отдельные составляющие технологической прочности (высокотемпературные деформации и деформационную способность металла шва), так и на технологическую прочность в целом.

Научная новизна. Впервые установлен двойственный характер влияния подогрева и жесткости заготовок на кинетику высокотемпе-

ратурных деформаций при сварке. Если при сварке развивается изгиб заготовок, то подогрев до небольших температур (300-400°С) увеличивает внутренние деформации; если изгиб свариваемых элементов подавлен, то такой подогрев снижает их. Увеличение температуры подогрева и жесткости снижает деформации и вероятность образования горячих трещин в первом случае и увеличивает - во втором.

Предложен и опробирован способ сварки закаливающихся сталей, позволяющий получать "двуслойные" швы, состоящие из периферийной аустенитной прослойки, обеспечивающей в околошовной зоне высокую стойкость против образования холодных трещин, и центральной части сварного шва, имеющей аустенитно-ферритную структуру, не склонную к образованию горячих трещин, при одновременном увеличении производительности.

Практическая ценность. Даны рекомендации по применению подогрева заготовок, выбору оптимального состава газовой среды при газоэлектрической сварке и способа варьирования химического состава металла шва, позволяющие повысить технологическую прочность сталей в процессе кристаллизации на высокопроизводительных режимах. Усовершенствована методика оценки технологической прочности сталей в процессе кристаллизации при сварке с подогревом.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" в МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1975г., на Всесоюзном совещании по автоматизации процессов машиностроения в г.Москве в 1976г. По заявке на способ повышения технологической прочности получено авторское свидетельство.

Объем работы. Работа состоит из введения, трех глав, общих выводов, списка литературы (131 наименование) и содержит 171 страницу, 57 рисунков и 5 таблиц.

ВВЕДЕНИЕ

Во введении отмечена существенная роль технологических факторов на технологическую прочность металла шва в процессе кристаллизации при сварке высокопрочных сталей с ограниченной свариваемостью и отсутствие научно-обоснованных рекомендаций к их выбору. Показано, что исследование влияния технологических фак-

торов с целью повышения стойкости против образования горячих трещин при дуговой сварке высокопрочных сталей является актуальным; в соответствии с поставленной целью сформулированы задачи исследования:

1. Установить влияние подогрева на высокотемпературные деформации при сварке сталей с различными теплофизическими свойствами с помощью разработанной аппаратуры.
2. Усовершенствовать методику и определить воздействие подогрева на деформационную способность металла шва в процессе кристаллизации применительно к сталям различных структурных классов при варьировании способов и режимов дуговой сварки.
3. Установить влияние подогрева на технологическую прочность сварных соединений в процессе кристаллизации.
4. Определить влияние состава защитной газовой среды и дополнительного присадочного металла на деформационную способность металла шва при сварке.

ГЛАВА I. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА НА ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫЕ ЦИКЛЫ МЕТАЛЛА ШВА

Первая часть главы содержит обзор литературы по влиянию подогрева на технологическую прочность металла шва. На основании работ Е.И.Лейначука, К.В.Багрянского, Г.В.Сутырина, Н.Н.Прохорова, Б.И.Медовара, Г.Л.Петрова и др. авторов можно сделать вывод, что до настоящего времени не существует единого мнения об эффективности подогрева в борьбе с горячими трещинами. Сведения эти особенно необходимы при разработке и совершенствовании технологии сварки сталей с малым запасом технологической прочности в процессе кристаллизации, когда небольшие изменения технологического процесса могут вызвать образование горячих трещин.

Согласно общепринятым теоретическим представлениям, для оценки технологической прочности металла шва в процессе кристаллизации необходимо сопоставить интенсивность нарастания деформаций, возникающих в металле шва при сварке, с изменением его деформационной способности в температурном интервале хрупкости. Следовательно, наряду с комплексным исследованием необходимо и дифференцированное исследование каждого из этих факторов в сравнимых условиях.

Во всех предыдущих работах приводятся отдельные, разрозненные данные, так как в них исследовались или деформации, или де-

формационная способность и по одному из факторов оценивалось влияние подогрева на склонность металла шва к образованию горячих трещин при сварке. Этим следует объяснить противоречивый характер выводов.

В связи с вышеизложенным, вторая часть главы посвящена исследованию влияния подогрева на поперечные высокотемпературные деформации при сварке, которые обусловливают образование продольных горячих трещин, наиболее часто встречающихся при сварке.

Внутренние деформации металла шва определяли экспериментально дифференциальным методом, разработанным Н.Н.Прохоровым, по разности между температурными свободными деформациями $\varepsilon_{св}$ и внешними деформациями ε'_y в течение всего цикла сварки:

$$\varepsilon_{вн} = [\varepsilon'_y] - [\varepsilon_{св}] \qquad (I)$$

Анализ существующих конструкций деформометров позволил установить их непригодность для измерения деформации при сварке с подогревом. В соответствии с поставленными требованиями были разработаны новые высокочувствительные деформометры рычажно-индуктивного типа для измерения внешних поперечных деформаций и индикаторно-реостатного типа - для угловых деформаций. Свободные деформации замеряли на быстродействующем диматометре ЛТП 4-4.

Исследования влияния подогрева на кинетику развития высокотемпературных деформаций проведены на образцах стыковых проб различной жесткости, которые в наибольшей степени отражают разнообразие конструктивных условий, встречающихся на практике (рис.I): проба ЛТП № I имитирует сварку стыковых и тавровых соединений из нескрепленных элементов; проба с прямолинейным швом № 2 - сварку скрепленных элементов и круговая проба "вварыш" № 3 - сварку фланца с оболочкой. Пробы с круговым швом обеспечивали максимальную жесткость при небольших габаритах, что является важным при лабораторных испытаниях.

В пробе ЛТП поперечные деформации, возникающие в начале шва, на порядок выше, чем в середине, поэтому образцы пробы № I варили от края к середине, а деформации измеряли в начале шва.

В образцах пробы № 2 контрольной являлась средняя часть, которая сваривалась в процессе испытания. Поперечные деформации измеряли в середине контрольного шва.

В образцах пробы № 3 перед сваркой производилась прихватка "вварыша" к пластине в двух местах, расположенных в диаметраль-

ной плоскости. Измерение деформации производили в конце третьей четверти периметра шва.

Выбор материалов и режимов сварки обусловлен стремлением проанализировать наиболее полно кинетику развития упруго-пластических деформаций. Поэтому в круг исследованных материалов вошли стали различных структурных классов, существенно отличающихся по своим теплофизическим свойствам, начиная от аустанитного и кончая ферритным (IXI8HIOT, ст.3, ст.А(Cr-Ni-Mo), 30ХГСА, КВК-32 и 2Х13).

Подогрев образцов производился специально изготовленными электропечами, контроль температуры подогрева - термопарой ХА, привариваемой конденсаторной сваркой к образцу, с помощью автоматического электронного потенциометра ЭПП-09.

Сварка подогретых образцов выполнялась после установки на них сверху и снизу деформометров. Одновременно с деформационным циклом записывали и термический цикл в центре исследуемого сечения шва путем погружения спая термопары ТП в охлаждающуюся часть сварочной ванны. Показания деформометра регистрировались на электрическом приборе НВ-662, а термопары - на ЭПП-09.

Совмещение термического и деформационного циклов осуществлялось путем отметки на диаграмме деформации момента прохождения оси электрода через исследуемое сечение, который практически всегда совпадал с максимумом температуры в центре этого сечения.

По термическому циклу определяли время нахождения металла шва в ТИХе $t_{тих}$, а по деформационному - соответствующие этому промежутку времени значения внешних деформаций ε'_y.

Для анализа характера изменения внешних поперечных деформаций при охлаждении по функциям $\varepsilon'_y = f(t)$ и $T = f(t)$ построили термодеформационные циклы $\varepsilon'_y = f(T)$.

Определив по термодеформационным циклам средние внешние деформации $\Delta\varepsilon'_y$ и скорости охлаждения $\omega_{тих}$, рассчитали темп внешней поперечной деформации по формуле:

$$\alpha' = \frac{\Delta\varepsilon'_y}{\Delta T_{тих}} = \frac{V' \cdot t_{тих}}{\omega_{тих} \cdot t_{тих}} = \frac{V'}{\omega_{тих}} \qquad (2)$$

Проведенными исследованиями показано, что при сварке указанных выше образцов угловые деформации в ТИХе весьма малы, что позволило в дальнейшем пренебречь их величиной.

Исследования влияния подогрева на свободные деформации, про-

ведениые на дилатометре ЛТП4-4, позволили установить, что подогрев незначительно изменяет дилатацию металлов в высокотемпературной области, поэтому о влиянии подогрева на деформации судили по величине и темпу внешней деформации.

Анализ результатов проведенных исследований (рис.2) впервые позволил установить двойственный характер влияния подогрева и жесткости заготовок на кинетику развития высокотемпературных деформаций, который определяется знаком внешних деформаций. При отрицательном знаке - подогрев до небольших температур (300--400°С) снижает внутренние высокотемпературные деформации, при положительном - увеличивает их. Это неблагоприятное влияние низкотемпературного подогрева имеет место в конструкциях, в которых при сварке развивается изгиб заготовок. Увеличение жесткости и температуры подогрева повышает внутренние деформации и вероятность образования горячих трещин в первом случае и снижает - во втором.

Эти закономерности сохраняются при дуговой сварке всех исследованных материалов. При этом значения температур подогрева, приводящих к снижению внутренних деформаций возрастают при увеличении жаропрочности стали.

ГЛАВА П. ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА НА ДЕФОРМАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

Вторая глава посвящена разработке методики исследования деформационной способности металла шва сталей при сварке с подогревом и анализу результатов проведенных исследований. Сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин определяли машинным способом. При разработке методики исследования необходимо было выбрать тип и размеры образцов, способ их подогрева и закрепление в захватах машины, которые позволили бы устранить погрешности, связанные с понижением температуры предварительного подогрева в процессе подготовки и проведения эксперимента, а также с изменением размеров образцов и силового контура машины, обусловленные нагревом. С учетом вышеизложенного, при испытаниях использовали неразъемные образцы с разделкой кромок под углом 70°, к которым прихватывались с двух сторон технологические планки. Такой тип образцов позволил свести до минимума время на установку и закрепление их в машине, площадь контакта и теплопередачу в захватах машины. Во избежание погрешностей от нагре-

ва захватов и корпуса машины подогрев образцов производили в муфельной печи.

Исследования деформационной способности проведены на машине ЛТП I-4, в которой совмещены механизм деформации изгибом с устройством для сварки. Критическую скорость изгиба $V_{кр}$ устанавливали путем испытания серии образцов, сваренных на одном режиме, но с изменением скорости перемещения клина. Однако $V_{кр}$ не учитывает влияния длительности пребывания металла шва в ТИХ. Поэтому за критерий оценки сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин принят критический темп деформации изгибом $\alpha_{кр}$, который рассчитывали по формуле (2). Скорость охлаждения в ТИХ $\omega_{тих}$ определяли по термическим циклам, которые замеряли для каждого исследуемого материала и для каждой температуры подогрева путем погружения спая термопары ТП в охлаждающуюся часть сварочной ванны. Показания термопары регистрировались на ЭПП-09.

Исследования влияния подогрева на деформационную способность металла шва проведены применительно к наиболее употребительным конструкционным материалам с различной технологической прочностью, сваренных на разных режимах неплавящимся и плавящимся электродами. Применение неплавящегося электрода позволило выявить влияние подогрева при сварке на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин при сварке при исключении дополнительных факторов, связанных с изменением химсостава металла шва.

На основании полученных результатов установлено, что подогрев снижает критический темп деформации $\alpha_{кр}$, а следовательно, и деформационную способность металла шва при кристаллизации всех исследованных сталей, но интенсивность снижения различна и зависит от жаропрочности исследованного материала: с увеличением последней - возрастает.

Металлографический анализ шлифов позволил установить, что подогрев увеличивает уровень химической и физической неоднородности, а при сварке сталей аустенитно-ферритного класса снижает содержание δ - феррита в металле шва, в связи с чем снижается и его деформационная способность.

Итак, подогрев однозначно снижает сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин и оказывает двойственное влияние на величину и темп внутренних деформаций.

Для выявления влияния подогрева на технологическую прочность сварных конструкций в процессе кристаллизации был сварен ряд типовых соединений: образцы пробы ЛТП из сталей IXI8HIOT, 2XI3, 30ХГСА и КВК-32 толщиной 3 мм, имитирующие стыковые и тавровые соединения нескрепленных элементов, образцы пробы типа "вварыш" из сталей ст.3 толщиной 26 мм и IXI8HIOT толщиной I5 мм, имитирующие соединения, широко применяемые в судостроении, а также роторы центрифуг из стали XI7HI3M2T толщиной 50 мм, применяемые в химическом машиностроении.

Сварка образцов пробы ЛТП выполнялась неплавящимся электродом в среде защитных газов, роторов центрифуг - под слоем флюса, образцов пробы типа "вварыш" - электродами эталонного ряда, сущность которого заключается в использовании сплавов с различными показателями технологической прочности. Эталонный ряд электродов для стали ст.3 создан на базе серийных электродов марки ОЗС-4, а для стали IXI8HIOT - сварочной проволоки Св-07Х25НІЗБТЮ.

Различные варианты композиции наплавленного металла получали путем введения в состав покрытия в первом случае сернистого железа, содержание которого изменялось от 0 до 4%, во втором - никеля, содержание которого колебалось от 4,5 до 22%.

За показатель технологической прочности принимали $V_{кр}$ электрода, при сварке которым образуются горячие трещины.

Анализом результатов проведенных исследований установлено:

I) в конструкциях, которые подвержены в основном сварочным деформациям изгиба в плоскости сварки (проба ЛТП), подогрев однозначно снижает технологическую прочность;

2) в конструкциях, где изгиб свариваемых элементов исключен закреплениями или увеличением жесткости, подогрев до небольших температур (300-400°С) повышает стойкость против образования горячих трещин, а высокотемпературный подогрев - снижает. С увеличением жесткости свариваемых элементов положительное влияния подогрева ослабевает.

Эта закономерность сохраняется при дуговой сварке сталей всех структурных классов.

На основании проведенных исследований были составлены "Рекомендации по применению подогрева заготовок для предотвращения горячих трещин" и внедрены на ряде заводов с экономическим эффектом. Результаты проверки подтверждены актами, свидетельствующими о справедливости сделанных выводов.

ГЛАВА Ш. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРИСАДОЧНОГО МЕТАЛЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛА ШВА

В отличие от широко распространенного мнения, подогрев, однозначно снижающий деформационную способность металла шва, не может рассматриваться в качестве существенной меры снижения высокотемпературных деформаций. Следовательно, при сварке узлов большой жесткости отсутствуют способы снижения высокотемпературных деформаций. В этой связи основное внимание следует уделять повышению деформационной способности металла шва, которая обусловлена в основном двумя факторами: химсоставом и структурой металла шва. При газоэлектрической сварке оба фактора определяются выбором электрода, долей его участия в металле шва, зависящей от режима сварки и состава защитной среды.

Данные о влиянии состава газовой среды на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин весьма ограничены. В качестве защитных сред применяются как чистые газы (Ar, He, CO_2, N_2), так и газовые смеси, компонентами которых являются Ar, O_2, CO_2, He , смешиваемые в различных пропорциях. Показано, что применение для защиты только одного газа позволяет благоприятно воздействовать лишь на один из факторов, определяющих деформационную способность (на химсостав или форму проплавления основного металла), в то время как применение газовых смесей позволяет в большем диапазоне изменять параметры режима сварки без значительного ущерба для химсостава, коррозионных свойств сварного соединения, а также изменять форму проплавления основного металла. В связи с этим необходимо отметить общую тенденцию - отказ от сварки в одном защитном газе и переход к сварке в газовых смесях. Сопоставление имеющихся данных по воздействию различных газовых смесей на деформационную способность металла шва позволило установить, что наиболее перспективной является смесь $Ar + CO_2$, компоненты которой дополняют друг друга по своему влиянию на различные показатели технологических свойств сварочной дуги. Газовая смесь $Ar + CO_2$ способствует стабилизации процесса сварки, снижению разбрызгивания и окисления элементов, повышению качества формирования шва. Состав указанной газовой смеси колеблется от 80% Ar + 20% CO_2 до 100% CO_2 при сварке низкоуглеродистых сталей и от 100% Ar до 20% Ar +

+ 8% CO_2 – легированных и нержавеющих сталей.

Исследования влияния состава защитной атмосферы на деформационную способность металла шва при сварке проведены по единой методике на машине ЛТИ-I-6, которую модернизировали для осуществления газоэлектрической сварки. Сварка образцов размером 20х40х60 мм с разделкой и без разделки кромок из хромоникелемолибденовой стали выполнялась электродными проволоками Св-I0Х2IН6С2АТ, Св-I0Х20Н7СТ, Св-I0ХI9НIIМ4Ф и Св-08ХI9НIIФ2С2 ∅ I,2 мм по предварительно наплавленным кромкам проволоками испытуемого состава в Ar , CO_2 и газовых смесях Ar + CO_2 и CO_2 + I0% N_2 .

В результате исследования установлено, что наибольшей деформационной способностью обладает металл шва при сварке не в чистом аргоне, а в газовой смеси Ar + 20% CO_2. При сварке в CO_2 показатель сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин также выше, чем при сварке в Ar . Добавка азота к CO_2 резко снижает стойкость металла шва против образования горячих трещин. Эта закономерность сохранялась при сварке проволоками различных классов.

Металлографические исследования шлифов показали, что сварные соединения, выполненные при сварке в смеси Ar + 20% CO_2, характеризуются более благоприятной схемой кристаллизации и более мелкодисперсной структурой. Кроме того, химическим анализом установлено, что наибольшее содержание α -фазы в металле шва при сварке в CO_2, несмотря на более интенсивное окисление легирующих элементов – ферритизаторов при сварке в этой среде, наименьшее – при сварке в Ar .

Однако повышение деформационной способности металла шва даже при сварке в смеси Ar + 20% CO_2 сравнительно невысокое (на 20-30% при сварке проволоками Св-I0ХI9НIIМ4Ф и Св-08ХI9НIIФ2С2).

С целью изыскания более эффективного способа повышения сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин был опробирован и способ сварки с дополнительной присадочной проволокой как наиболее универсальный из существующих способов сварки с дополнительным присадочным металлом. При этом способе сварки проволока подается в хвостовую часть сварочной ванны, что позволяет механизировать ее подачу в зону сварки.

Исследование влияния дополнительной присадочной проволоки

на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин проведены по единой методике на машине ЛТП I-6, на которой был установлен дополнительный механизм подачи присадочной проволоки. Кроме того, была разработана специальная сварочная горелка с электрически изолированным каналом для подачи дополнительной проволоки.

Испытания проведены с использованием проволок Св-08Х2ГНТ1Ф2Т и Св-08Х19НТ1Ф2Т2 Ø I,2 мм в различных комбинациях. Максимальный расход присадочной проволоки составлял I/5 от расхода электродной.

На основании исследований установлено, что введение дополнительной присадочной проволоки в хвостовую часть сварочной ванны повышает в 2 раза сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин. Кроме того, если электродная и присадочная проволоки разных структурных классов, то шов получается двуслойным: по периферии шва вдоль линии сплавления располагается в основном металл электродной проволоки, в центре шва - металл присадочной проволоки.

Показано, что варьируя химсостав электродной и присадочной проволок, можно получать композиции двуслойных швов, которые будут стойки против образования не только горячих трещин, но и холодных. В этом аспекте заслуживают большого внимания двуслойные швы, имеющие аустенитно-ферритную структуру в центре шва, не склонную к горячим трещинам, и аустенитную - по периферии и на линии сплавления, обеспечивающую стойкость металла околошовной зоны против образования холодных трещин.

В Ы В О Д Ы

I. С целью изыскания эффективных способов повышения технологической прочности металла шва в процессе кристаллизации при сварке сталей с повышенной склонностью к горячим трещинам проведено сравнительное экспериментальное исследование влияния всех основных технологических факторов: предварительного подогрева, состава газовой защитной среды и дополнительного присадочного металла на технологическую прочность металла в высокотемпературной области в условиях варьирования в широких пределах химического состава основного и присадочного материалов.

2. Разработана методика и предложен критерий оценки деформационной способности металла шва применительно ко всем способам и режимам сварки с подогревом, а также проведено экспериментальное исследование влияния подогрева на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин широкого круга сталей с различными теплофизическими свойствами.

3. Впервые установлено, что подогрев однозначно снижает сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин при сварке всех исследованных сталей. Показано, что снижение сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин при сварке с подогревом обусловлено увеличением химической и физической неоднородности, укрупнением элементов первичной структуры. С увеличением температуры подогрева степень снижения возрастает.

4. Сконструированы рычажно-индуктивные деформометры, обладающие высокой точностью и чувствительностью, для измерения высокотемпературных деформаций и проведены исследования влияния подогрева на высокотемпературные деформации в конструкциях различной жесткости применительно ко всем способам и режимам дуговой сварки.

5. Впервые обнаружено двойственное влияние подогрева и жесткости на темп деформации:

а) в конструкциях, где доминирует изгиб свариваемых элементов, зависимость темпа высокотемпературных деформаций от температуры подогрева имеет вид кривой с максимумом при 400-500°С;

б) в конструкциях, где изгиб свариваемых элементов подавлен, эта зависимость имеет обратный характер;

в) с увеличением жесткости влияние подогрева на высокотемпературные деформации снижается в обоих случаях, поэтому в конструкциях повышенной жесткости подогрев, не изменяя деформаций, снижает деформационную способность металла швов, а следовательно, и его технологическую прочность в процессе кристаллизации.

6. Установлено, что наиболее перспективной при газоэлектрической сварке плавящимся электродом низкоуглеродистых и нержавеющих сталей является газовая смесь Ar + 20% CO_2, которая, благоприятно воздействуя на химсостав и структуру металла шва, позволяет повышать его деформационную способность на 30-40%.

7. Показано, что наиболее эффективно повышается сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин при сварке с дополнительной присадочной проволокой. Кроме того, на этой основе

разработан способ сварки закаливающихся сталей, предусматривающий получение двуслойных швов: с аустенитной прослойкой по периферии и вдоль линии сплавления и аустенитно-ферритной структурой в центре шва.

8. На основании полученных результатов даны "Рекомендации по применению подогрева заготовок для предотвращения горячих трещин при сварке", внедрение которых только на Павлоградском заводе химического машиностроения позволило получить экономический эффект в 21000 руб.

Положительные результаты проверки данных рекомендаций подтверждены актами.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Якушин Б.Ф., Фирсова Р.И., Алешин О.П. "Влияние условий газоэлектрической сварки на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин", Труды МВТУ № 167, 1973.
2. Алешин О.П., Фирсова Р.И., Якушин Б.Ф. "Повышение сопротивляемости аустенитного металла шва горячим трещинам", Труды МВТУ № 202, 1976.
3. Фирсова Р.И., Якушин Б.Ф. "Влияние подогрева заготовок из высоколегированных сталей на структуру и горячеломкость сварных швов", Сборник "Металловедение и термическая обработка", КПИ, 1976г.
4. Якушин Б.Ф., Алешин О.П., Фирсова Р.И. Авторское свидетельство, № 525511 от 30.IX.1974г., Б.И. № 31, 1976.
5. Якушин Б.Ф., Мисюров А.И., Фирсова Р.И. "Закономерности развития высокотемпературных деформаций в процессе сварки", Труды МВТУ № 248, 1977.
6. Тихонов В.Н., Якушин Б.Ф., Фирсова Р.И. "Совершенствование технологии автоматической дуговой сварки толстолистовой стали пониженной свариваемости", Труды МВТУ № 248, 1977.

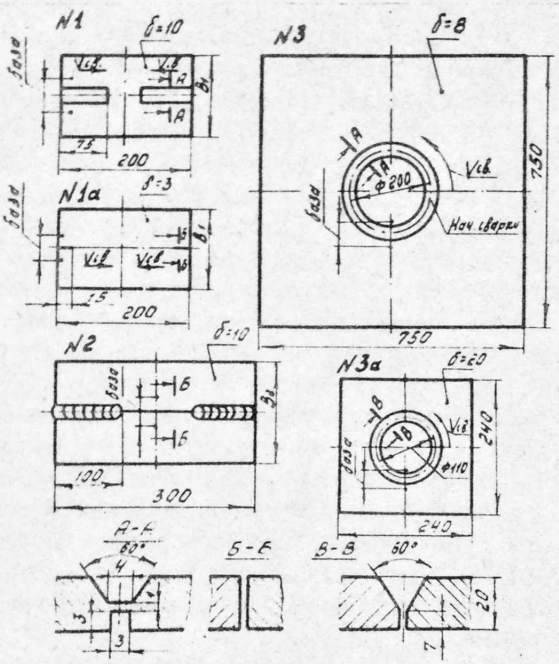


Рис.I Эскизы образцов проб.

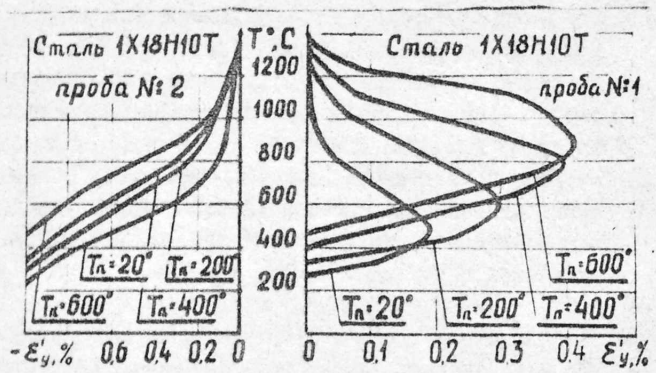


Рис.2 Влияние температуры подогрева на кинетику развития внешних поперечных деформаций при сварке образцов
а) пробы ЛТИ № I малой жесткости; б) жесткой пробы № 2 с прямолинейным швом.