

УДК 621.982

Семенов В. М., Гаврильченко О. А., Малыгина С. В.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ УНИКАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Тяжелое машиностроение характеризуется широкой номенклатурой продукции и значительными, а подчас и уникальными размерами и весом, как отдельных деталей, так и собранных машин. Эти особенности определяют основные положения организации производства и построения технологического процесса [1].

Серьезным достижением техники явилось создание плавучих буровых установок (ПБУ) для добычи нефти в акваториях морей. Одним из основных узлов данной установки является механизм подъема, осуществляющий поднятие и опускание колонн ПБУ рис. 1. В механизме подъема используют ползуны, представляющие собой сложные корпусные детали, изготавливаемые в литом исполнении из стали 08ГДНФЛ. Однако литая конструкция не гарантирует стабильного качества и свойств металла. Цельнокованый вариант изготовления также не приемлем, вследствие высокой трудоемкости и больших потерь металла при механической обработке.

Целью работы является повышение эффективности и качества изготовления ползунов путем замены процесса нормализации менее трудоемким и энергоемким способом обработки, при условии обеспечения требуемых механических свойств. Кроме этого, необходимо обеспечить равнопрочность сварных соединений при осуществлении замены дорогостоящей, легированной никелем, сварочной проволоки Св-08ХН2М более экономически выгодной малоуглеродистой.

Для осуществления данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать сварные соединения из стали 08ГДНФЛ при различных видах термообработки;
- выбрать способ сварки, сварочные материалы и режимы термообработки, обеспечивающие требуемый уровень механических свойств;

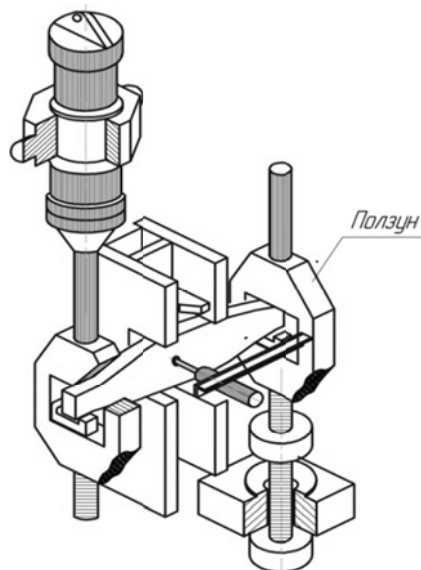


Рис. 1. Общий вид механизма подъема ПБУ «Каспий»

Электрошлаковый способ сварки был выбран как наиболее производительный. Для обеспечения механических свойств сварного соединения при этом способе требуется высокотемпературная обработка, требовалось изучить возможность замены ее менее трудоемкой операцией.

К сварным соединениям из этой стали предъявляют следующие требования по механическим свойствам после нормализации с отпуском:

$$\sigma_b \geq 500 \text{ МПа}, \sigma_T \geq 300 \text{ МПа}, \delta \geq 20 \%, \varphi \geq 40 \%, a_n \geq 50 \text{ Дж/см}^2.$$

Исследования выполняли при сварке опытных заготовок 600×400×150 мм из стали 08ГДНФЛ, одни из образцов сваривали проволокой Св-10Г2, а другие – проволокой Св-08ХН2М с использованием флюса АН-348. Режим сварки: напряжение $U = 47\text{--}48 \text{ В}$, скорость подачи проволоки $V = 220 \text{ м/ч}$, расстояние между электродами 80 мм, глубина шлаковой ванны $h = 50 \text{ мм}$. После сварки часть образцов подвергали отпуску при 580–600°C, другую – нормализации (900–940°C) с отпуском при 580–600°C, а третью – термообработке в интервале температур $A_{c1} - A_{c3}$ (740–760°C) с отпуском при 580–600°C. Критические точки для стали 08ГДНФ: $A_{c1} = 680\text{--}700^\circ\text{C}$, $A_{c3} = 860\text{--}885^\circ\text{C}$. Режим контролировали потенциометром. После термообработки исследовали сварные соединения, определяли механические свойства основного металла, шва и зоны термического влияния. Испытания на статическое растяжение осуществляли на стандартных круглых образцах с диаметром 6 мм. Ударную вязкость околошовной зоны определяли на образцах с надрезом Менаже. При испытании на ударный изгиб надрез располагали на расстоянии 0,2 и 4 мм от линии сплавления. Химический состав основного металла и швов, сваренных проволоками Св-10Г2 и Св-08ХН2М, приведен в табл. 1.

Механические свойства сварных соединений стали 08ГДНФЛ после различной термообработки представлены в табл. 2. Результаты таблицы показывают, что по основным пяти элементам состав швов и стали практически одинаков. Произошло некоторое долегирование швов ванадием и медью за счет основного металла. Увеличилось содержание никеля в шве, выполненном проволокой Св-10Г2, переходом его из основного металла [2].

Из табл. 2 видно, что механические свойства металла шва, выполненного разными проволоками после различной термической обработки различны.

Наибольшими значениями обладает металл шва, проволокой Св08ХН2М, содержавшей легирующие элементы. Эти значения превышают свойства основного металла в состоянии после нормализации с отпуском. Металл шва и основной металл, после термической обработки в интервале $A_{c1} - A_{c3}$ имеют пониженные, в сравнении с металлом прошедшим нормализацию с отпуском, прочностные свойства. Сварные соединения, подвергнутые только отпуску, имеют уровень свойств металла обработанного в межкритическом интервале температур.

Результаты испытаний на ударный изгиб металла зоны термического влияния и твердость после различных видов термообработки представлены на рис. 2. Ударная вязкость околошовной зоны после различной термообработки, определенная на различном расстоянии от линии сплавления (0; 2; 4 мм), имеет различные значения. Величина ее после нормализации с отпуском ($\approx 150 \text{ Дж/см}^2$) и после термообработки в интервале $A_{c1} - A_{c3}$ ($>200 \text{ Дж/см}^2$) превышают требуемую величину (50 Дж/см^2). Металл шва, выполненный проволокой Св-10Г2 после термообработки в интервале $A_{c1}\text{--}A_{c3}$ имеет значения ударной вязкости ($100\text{--}200 \text{ Дж/см}^2$), что удовлетворяет требуемым условиям (50 Дж/см^2). Термическая обработка – отпуск обеспечивает получение требуемого значения ударной вязкости металла шва ($\approx 50 \text{ Дж/см}^2$), однако не влияет на свойства околошовной зоны, оставляя низкие значения ударной вязкости ($<25 \text{ Дж/см}^2$).

Таблица 1

Химический состав стали и сварных швов

Металл	Содержание, %									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	V	Cu	Mo
Сталь 08ГДНФЛ	0,09	0,66	0,26	0,014	0,014	0,11	1,43	0,09	1,12	-
Шов, сваренный проволокой Св-10Г2	0,10	0,93	0,15	0,027	0,013	0,06	0,86	0,05	0,76	-
То же проволокой Св-08ХН2М	0,08	0,76	0,15	0,025	0,018	0,66	1,46	0,06	0,72	0,3

Таблица 2

Механические свойства сварных соединений

Термообработка	Металл	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	a_n , Дж/см ²
Нормализация с отпуском	Шов, сваренный проволокой Св-10Г2	350	519	27,8	54,0	163–167
Нормализация с отпуском	Тоже проволокой Св-08ХН2М	400	530	31,0	55,0	183–193
Нормализация с отпуском	Сталь 08ГДНФЛ	367	520	29,5	53,0	107–103
В интервале $A_{c1} - A_{c3}$ с отпуском	Шов, сваренный проволокой Св-10Г2	330	513	29,3	50,5	125–137
В интервале $A_{c1} - A_{c3}$ с отпуском	Сталь 08ГДНФЛ	345	523	30,4	62,4	135–158
Отпуск	Шов, сваренный проволокой Св-10Г2	325	511	21,5	51,15	76–81
Отпуск	Сталь 08ГДНФЛ	347	522	24,7	40,8	75–97

Для объяснения результатов полученных значений механических свойств выполнили металлографические исследования сварных соединений. При изучении микроструктуры шва основного металла и зоны термического влияния использовали шлифы, изготовленные из ударных образцов после их испытания и травления 10 %-ным спиртовым раствором хлорнокислого железа и меди в соляной кислоте. Результаты металлографических исследований, представленные на рис. 3 показывают, что термическая обработка влияет на структуру сварных соединений стали 08ГДНФЛ [3].

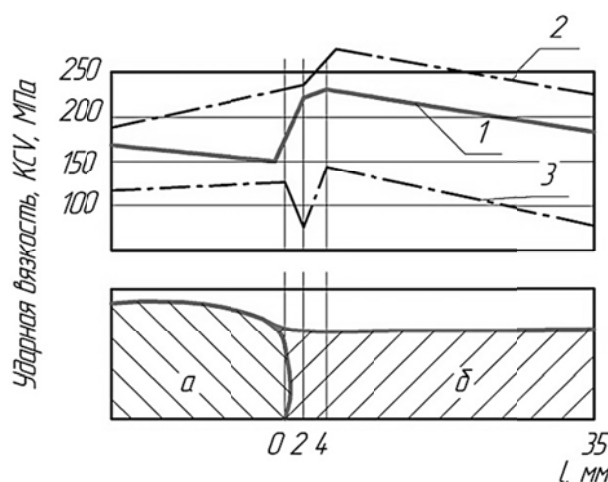


Рис. 2. Изменение ударной вязкости участка сварного соединения:

1 – нормализация с отпуском; 2 – в промежутке $A_{c1} - A_{c3}$; 3 – отпуск; а – шов; б – ОШЗ

Структура основного металла и ОШЗ после нормализации с отпуском перлитоферритная мелкозернистая, что объясняется положительным влиянием ванадия, содержащимся в стали. Структура металла шва имеет более крупные зерна феррита с отдельными включениями

перлита темного цвета. Структура основного металла после термообработки в интервале $A_{c1} - A_{c3}$, является переходной от основного металла к металлу шва и которая практически аналогична структуре основного металла после нормализации с отпуском. Наиболее примечательным участком структуры является структура металла ОШЗ после отпуска. Явно просматривается крупное перлитное зерно с ферритовой оторочкой по границе и понижением ударной вязкости на этом участке [4].

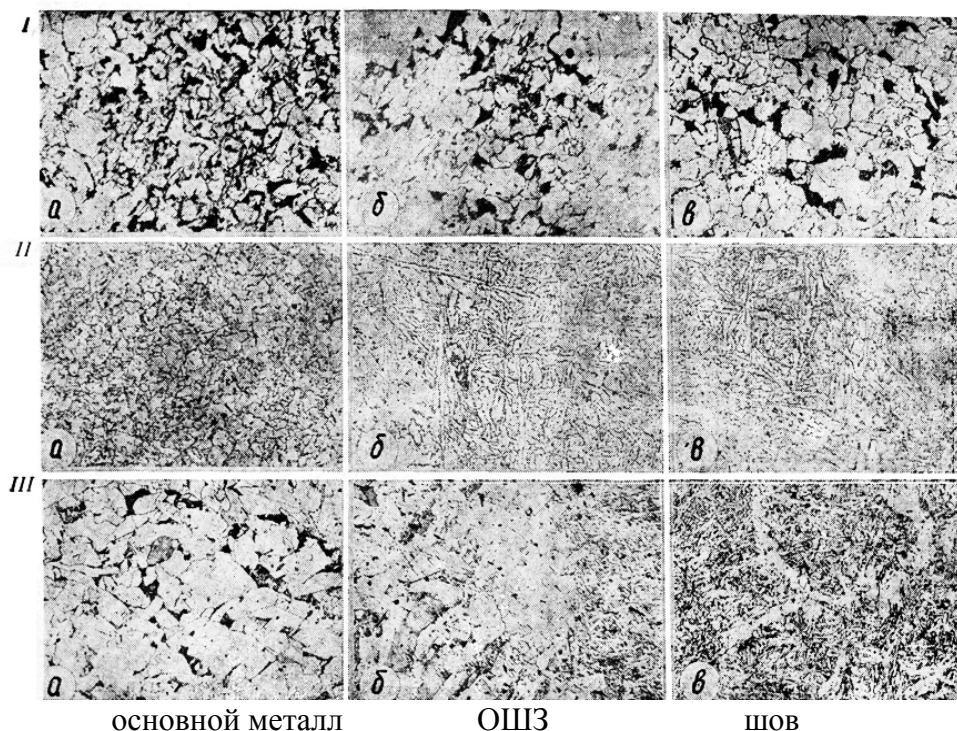


Рис. 3. Микроструктура сварного соединения:

I – после нормализации отпуском; II – после термообработки в интервале $A_{c1} - A_{c3}$; III – после отпуском

На основании выполненных исследований (см. табл. 2) можно заключить, что на литых деталях из стали 08ГДНФЛ, свариваемых ЭШС механические свойства могут быть обеспечены термической обработкой в межкритическом интервале температур. Результаты исследования были использованы при электрошлаковой сварке ползунов из стали 08ГДНФЛ. Для начала сварки и вывода шлаковой ванны за пределы изделия использовали медные водоохлаждаемые планки. Зазоры под сварку во всех стыках 32 мм. Схема очередности электрошлаковой сварки стыков ползуна и медного водоохлаждаемого устройства показаны на рис. 4.

Учитывая то, что предел текучести металла шва ($\sigma_T = 325$ МПа) приблизительно на 7 % ниже требуемого ($\sigma_T = 347$ МПа), чтобы придать равнопрочность его основному металлу, было принято решение при сварке ползунов увеличить сечение шва с обеспечением плавного перехода от одной заготовки к другой. Была изготовлена специальная медная водоохлаждаемая подкладка с увеличенным усилением (рис. 4, б) для формирования внутренней поверхности шва, позволяющая увеличить расчетное сечение шва и обеспечить равнопрочность его основному металлу.

Качество сварных соединений контролировали ультразвуковой дефектоскопией. Проверяли один ползун из каждой партии в 8 штук. Контроль показал отсутствие каких-либо дефектов в сварных соединениях [4].

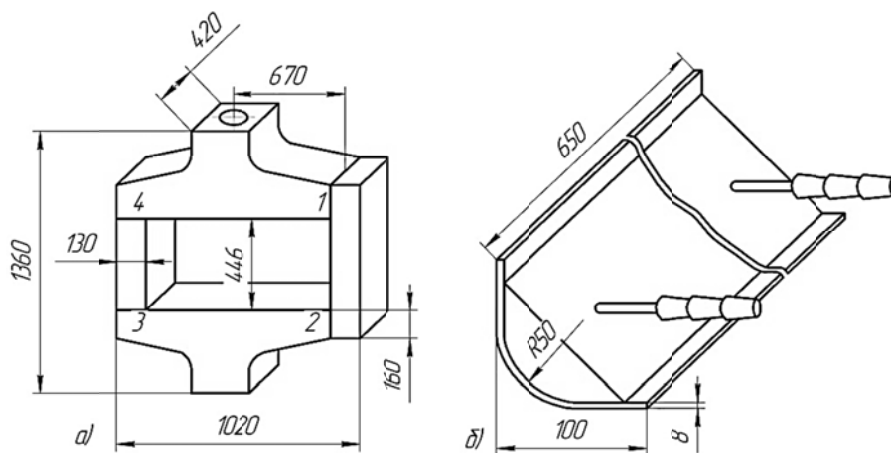


Рис. 4 Схема очередности сварки стыков ползуна (а) и медное водоохлаждаемое устройство (б).

ВЫВОДЫ

Исследования, выполненные при разработке технологии электрошлаковой сварки ползунов из литых заготовок стали 08ГДНФЛ показали:

- для обеспечения требуемого уровня свойств после ЭШС, включая ударную вязкость зоны термического влияния, достаточно производить взамен высокотемпературной термообработки нормализации термообработку в межкритическом интервале температур $A_{c1} - A_{c3}$;

- возможность получения равнопрочности металла шва основному металлу при осуществлении замены дорогостоящей, легированной никелем сварочной проволоки Св-08ХН2М более экономически выгодной малоуглеродистой проволокой Св-10Г2. Это достигалось путем использования специального водоохлаждаемого устройства с радиусом для формирования внутренней поверхности углового шва ползуна, отличающегося тем, что с целью обеспечения равнопрочности шва, выполненного малоуглеродистой проволокой, основному металлу из легированной стали, радиус устройства задают таким, чтобы сечение шва, получаемое при сварке было больше сечения свариваемой заготовки во столько, во сколько прочностные свойства основного металла выше свойств металла шва. Разработанная технология ЭШС ползунов внедрена при изготовлении плавучих буровых установок и значительно повысила эффективность их производства.

Установлено, что сварные соединения из стали 08ГДНФЛ, прошедшие после ЭШС термообработку в интервале температур $A_{c1} - A_{c3}$ имеют механические свойства практически идентичные свойствам сварных соединений подвергнутым нормализации с отпуском, что позволяет применительно к изделиям из стали 08ГДНФЛ заменить нормализацию термообработкой в указанном интервале температур и повысить эффективность производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зоткин В. Е. *Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении* / В. Е. Зоткин // *Справочник – Форум, Инфра-М, 2013.* – 320 с.
2. Семенов В. М. *Влияние легирующих элементов на склонность металла шва к образованию горячих трещин при электрошлаковой сварке* / В. М. Семенов, В. Д. Кассов, А. В. Иванык // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць – Краматорськ : ДДМА, 2013.* – № 1 (30). – С. 149–153.
3. Семенов В. М. *Деформації при електрошлаковому зварюванні легованих сталей* / В. М. Семенов, О. В. Кабацький, С. О. Бабенко // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць – Краматорськ : ДДМА, 2011.* – № 4 (25). – С. 211–215.
4. Суцук-Слюсаренко И. И. *Электрошлаковая наплавка в ремонтных работах* / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. М. Семенов. – Киев : Наукова думка, 1998. – 180 с.