

УДК.621.791.793

Семенов В. М.

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПОД ЭЛЕКТРОШЛАКОВУЮ СВАРКУ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

При изготовлении крупногабаритных деталей типа валов гидротурбин и гидрогенераторов, а также деталей прессового и других видов оборудования тяжелого машиностроения, с уровнем механических свойств  $\sigma_b \geq 450$  МПа,  $\sigma_m \geq 280$  МПа и  $a_n \geq 50$  Дж/см<sup>2</sup> используют сталь 35. Обычно эти детали изготавливают сварными из поковок или из литых заготовок с применением электрошлаковой сварки. Однако сварка стали 35 со сравнительно высоким содержанием углерода создает опасность образования трещин и чувствительна к перегреву металла околошовной зоны (ОШЗ) с образованием крупнозернистой структуры с низкими механическими свойствами [1–3]. Для повышения свойств необходимо выполнять после сварки нормализацию с отпуском. Вместо стали 35 была разработана хорошо свариваемая сталь 20ГС, нашедшая широкое применение как в литом, так и в кованом состоянии.

Целью исследований является определение влияния способа изготовления (литье, ковка) крупногабаритных свариваемых заготовок из стали 20ГС на свойства ОШЗ сварных соединений, оптимизация химического состава шва для обеспечения требуемого уровня механических свойств.

Исследование выполнялось на образцах-кольцах, отрезанных от донной и подпробильной частей кованой и донной части литой цилиндрических заготовок. Высота каждого кольца составляла 150 мм, наружный диаметр – 1440 мм, внутренний – 980 мм. Литое и кованое кольца сваривали между собой (рис. 1).

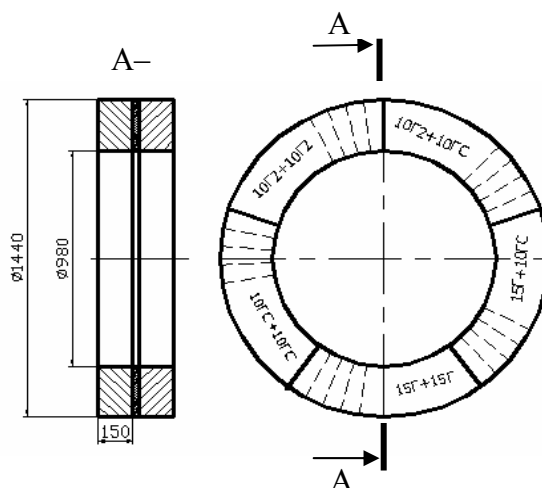


Рис. 1. Схема расположения участков сварного соединения, выполненного различными сварочными проволоками

Химический состав исследуемых заготовок представлен в табл. 1.

Оптимизацию состава металла шва, обеспечивающего получение указанных выше требуемых свойств, выполняли путем выбора при электрошлаковой сварке оптимальной комбинации стандартных марок сварочной проволоки.

В качестве образцов использовали упомянутые выше кольца, для чего их собирали с зазором 35...40 мм. Электрошлаковую сварку образца производили двумя проволоками трех марок – 10Г2, 10ГС, 15Г, применявшихся в следующих комбинациях: 10Г2 + 10Г2; 10ГС + 10ГС; 15Г + 15Г, 15Г + 10ГС; 10Г2 + 10ГС. Каждую часть (по длине окружности) кольцевого образца сваривали проволоками под флюсом АН-8.

Таблица 1

Химический состав исследуемых заготовок

Часть заготовки		Химический состав, %				
		C	Mn	Si	S	P
Кованая заготовка	Прибыльная	0,20	1,25	0,74	0,024	0,024
		0,19	1,22	0,76	0,030	0,026
		0,18	1,22	0,76	0,030	0,026
	Донная	0,19	1,25	0,76	0,22	0,022
		0,18	1,23	0,70	0,26	0,024
		0,17	1,23	0,69	0,25	0,023
Литая заготовка		0,21	1,24	0,75	0,025	0,027
		0,19	1,23	0,78	0,028	0,024

После сварки образец разрезали на пять частей, сваренных проволоками различной комбинации. Каждую пятую часть в свою очередь разрезали на две части, одну из которых подвергали нормализации с отпуском, другую – только отпуску.

Механические свойства испытывали после нормализации с отпуском и после одного отпуска. Режим термической обработки показан на рис. 2.

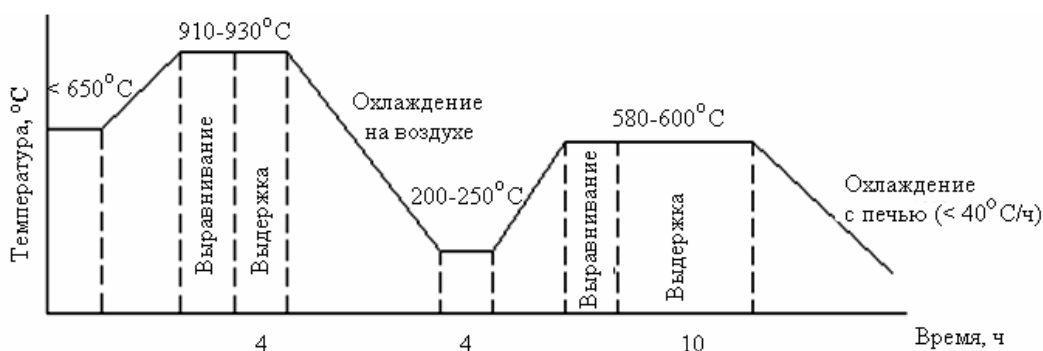


Рис. 2. Режим термической обработки – нормализации с отпуском (Н + О)

Термообработанные заготовки разрезали на темплеты толщиной 30 мм, шлифовали и травили в 20 % растворе  $\text{HNO}_3$ . Макрошлифы проверяли на отсутствие дефектов и изготавливали образцы для механических испытаний. Образцы располагали на участках сварного соединения «основной металл поковка – ОШЗ поковки – шов – ОШЗ отливки – основной металл отливки».

Испытание металла на разрыв производили на стандартных пятикратных образцах, определение ударной вязкости – на образцах с надрезом (рис. 3).

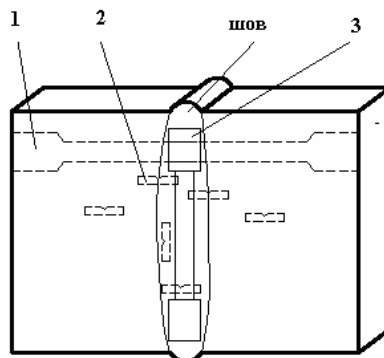


Рис. 3. Схема расположения образцов для механических испытаний:

1 – плоскоразрывной образец; 2 – образец для определения ударной вязкости; 3 – разрывной образец

Результаты механических испытаний, приведенные на рис. 4, показывают, что заметной разницы в прочностных свойствах литой, а также прибыльной и донной частей поковки не наблюдается.

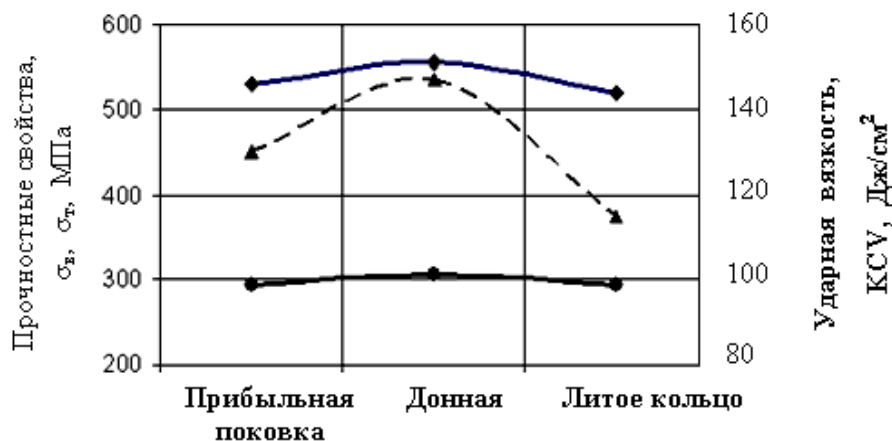


Рис. 4. Прочностные свойства ( — ) и ударная вязкость ( - - - ) металла литой и ковкой заготовок после Н + О

Это объясняется положительным влиянием на эти свойства термической обработки и соответствует их идентичному содержанию основных элементов: С, Мn, Si. Содержание серы и фосфора несколько выше в прибыльной части поковки, чем в донной части, что объясняется строением слитка, в котором при его заливке все неметаллические включения, в том числе и сернистые, имеющие более низкую температуру плавления, по сравнению с более чистым металлом, всплывают в верхнюю часть, образуя ликвационные участки.

Необходимо отметить, что величина ударной вязкости ковкого металла выше, чем литого, что объясняется более плотной структурой пластически деформированного в процессековки металла. Донная часть поковки имеет, как и следовало ожидать, повышенные значения ударной вязкости в сравнении с ее прибыльной, более загрязненной частью. Как по прочностным свойствам, так и по ударной вязкости металл литой и ковкой заготовок удовлетворяет требуемым значениям, указанным ранее.

Пластические свойства ковкого металла выше, чем литого, что также объясняется более плотной структурой ковкого металла, приобретенной в результатековки (рис. 5).

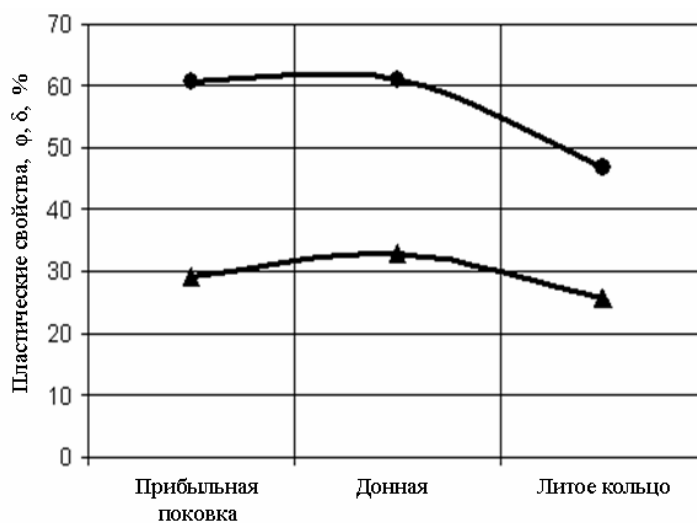


Рис. 5. Пластические свойства литой и ковкой заготовок (● — φ ▲ — δ)

При металлографическом исследовании металла трещин и других дефектов не обнаружено. Ударную вязкость металла шва испытывали на поперечных и продольных образцах с острым надрезом.

Результаты механических испытаний образцов, прошедших различную термообработку, приведены на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что наибольшими значениями прочностных свойств после нормализации и после отпуска обладают швы: 10ГС + 10ГС и 10ГС + 15Г, что объясняется повышенным содержанием в них углерода и кремния

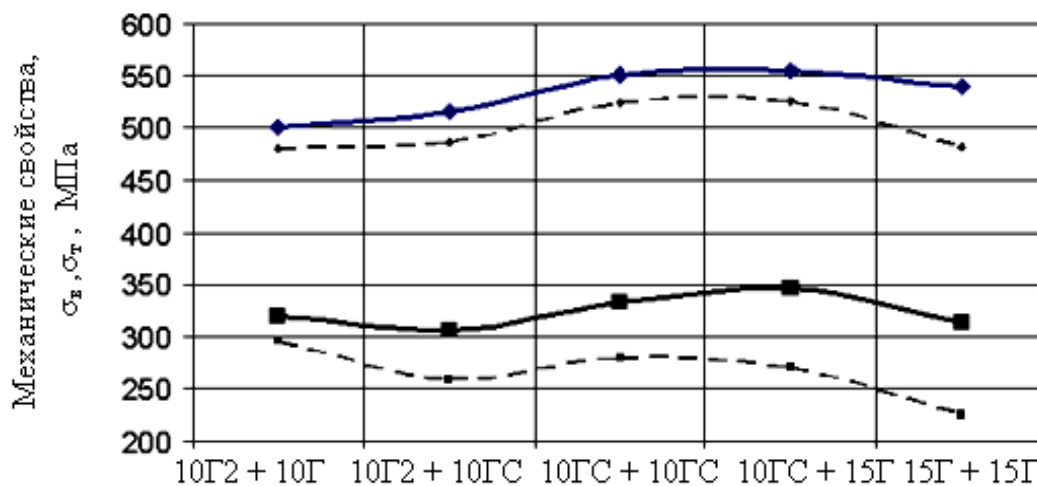


Рис. 6. Зависимость прочностных свойств металла шва от вида термообработки:

—◆— σ<sub>в</sub>; —■— σ<sub>т</sub> — после нормализации с отпуском;  
 —◆—◆— σ<sub>в</sub>; —■—■— σ<sub>т</sub> — после отпуска

Показано (рис. 7), что минимальное значение ударной вязкости металла шва ( $\approx 68 \text{ Дж/см}^2$ ) при любых сочетаниях проволок как после нормализации с отпуском, так и после одного отпуска удовлетворяют техническим требованиям ( $50 \text{ Дж/см}^2$ ). Этому требованию не удовлетворяют составы, выполненные сочетаниями 10ГС + 10ГС и 15Г + 15Г.

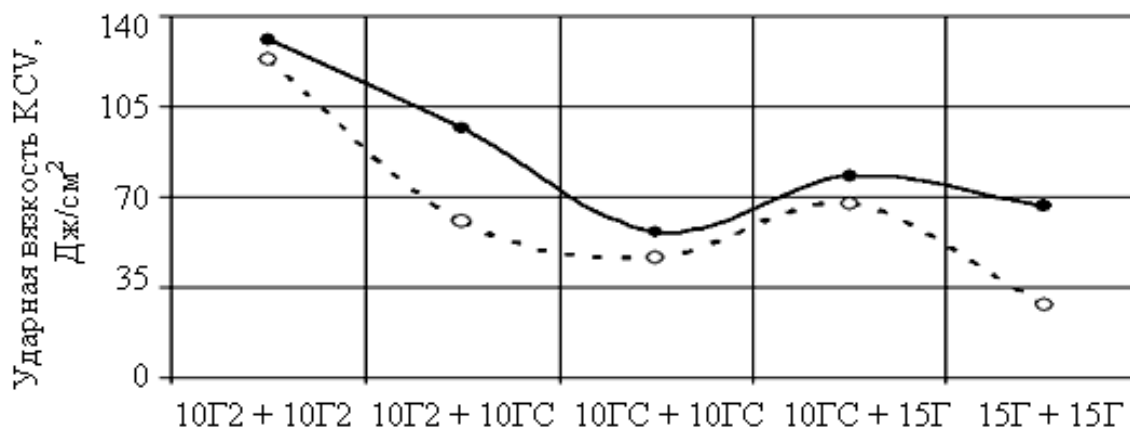


Рис. 7. Зависимость ударной вязкости металла шва от вида термообработки:

—●— нормализация; —○— отпуск

Результаты химического анализа металла шва приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Химический состав металла шва

Комбинация проволок	Химический состав шва, %				
	C	Si	Mn	P	S
10Г2 + 10Г2	0,14	0,33	1,43	0,018	0,021
10Г2 + 10ГС	0,14	0,51	1,23	0,023	0,022
10ГС + 10ГС	0,17	0,74	1,19	0,022	0,020
10ГС + 15Г	0,18	0,58	1,20	0,021	0,021
15Г + 15Г	0,21	0,26	1,1	0,022	0,026

Определение ударной вязкости производили для пяти комбинаций проволок на металле, который прошел термическую обработку по режиму, приведенному выше, на рис. 2.

Как указывалось выше, темплет для изготовления образцов имеет пять зон: литье, ОШЗ со стороны литья; шов; ОШЗ со стороны поковки и поковка. Ударный образец располагали вдоль и поперек шва. Результаты испытаний ударной вязкости каждой зоны представлены на рис. 8.

Из рис. 8 видно, что ударная вязкость металла околошовной зоны со стороны поковки ( $120 \dots 140$  Дж/см<sup>2</sup>) выше, чем со стороны литья ( $80 \dots 100$  Дж/см<sup>2</sup>).

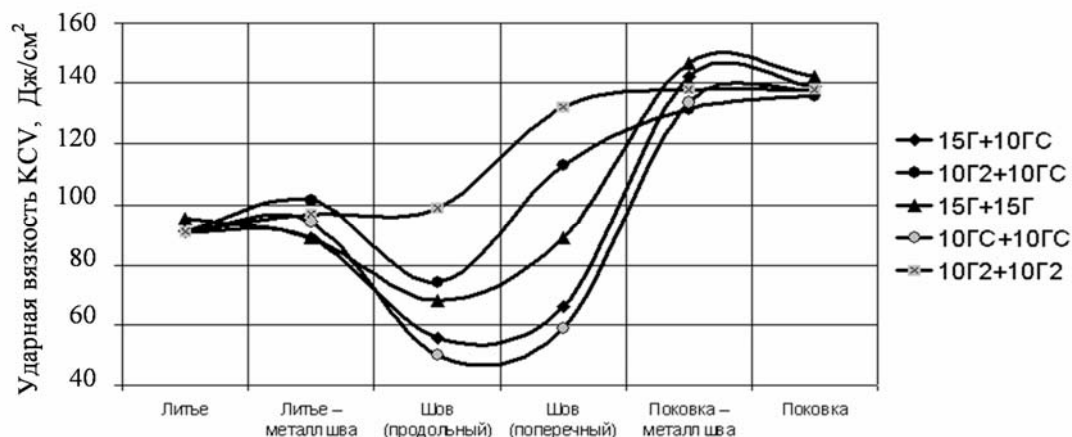


Рис. 8. Ударная вязкость различных участков сварного соединения

## ВЫВОДЫ

Определено, что вид заготовок (поковка или литье), подлежащих электрошлаковой сварке, оказывает влияние на ударную вязкость металла околошовной зоны сварных соединений, прошедших только отпуск.

Ударная вязкость металла околошовной зоны со стороны поковки ( $120 \dots 140$  Дж/см) выше, чем со стороны литья ( $80 \dots 100$  Дж/см), что позволяет рекомендовать применять сталь 25ГС в кованом состоянии и отменить нормализацию после ЭШС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Электрошлаковая сварка (Перспективы развития) // Б. Е. Патон, Д. А. Дудко, А. М. Пальти, И. И. Суцук-Слюсаренко // Автоматическая сварка. – 1999. – № 9. – С. 4–6.
2. Суцук-Слюсаренко И. И. Технологические приемы воздействия на структуру и качество металла шва и околошовной зоны / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. М. Семенов // Основные и сварочные материалы для электрошлаковой сварки. – К. : Наукова думка, 1981. – С. 29–34.
3. Бондаренко О. П. Скоростная ЭШС толстолистового металла без нормализации сварных соединений / О. П. Бондаренко, А. А. Москаленко, В. Г. Тюкалов // Автоматическая сварка. – 1999. – № 9. – С. 29–30.