

УДК 621.791.793

Семенов В. М., Иванык А. В., Марков О. Е.

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ПОД ЭШС НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

При производстве деталей подъемно-транспортных машин, а также деталей прессового и других видов оборудования тяжелого машиностроения, с уровнем механических свойств  $\sigma_B \geq 450$  МПа,  $\sigma_T \geq 280$  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 (ЭШС). Однако сварка стали 35 со сравнительно высоким содержанием углерода создает опасность образования трещин в сварном соединении и чувствительна к перегреву металла околошовной зоны (ОШЗ) с образованием крупнозернистой структуры с низкими механическими свойствами [1, 2]. Для повышения механических свойств, после сварки необходимо выполнять высокотемпературную термообработку – нормализацию с отпуском. С учетом выше изложенного, как замена стали 35, была разработана хорошо свариваемая, низколегированная, малоуглеродистая сталь 20ГС. Эта сталь используется как в литом, так и в ковном состояниях.

Целью работы является определение влияния способа изготовления крупногабаритных свариваемых заготовок из стали 20ГС на свойства околошовной зоны сварных соединений, и оптимизирование химического состава шва, обеспечивающего требуемый уровень механических свойств.

Исследование стали 20ГС выполняли на образцах – кольцах, отрезанных от донной и подприбыльной частей кованой и донной части литой цилиндрических заготовок. Высота каждого кольца составляла 150 мм, наружный диаметр 1 440 мм, внутренний – 980 мм. Литое и кованое кольца сваривали между собой электрошлаковым методом.

Изучение химического состава и определение механических свойств производили после термической обработки – нормализации с отпуском. (Н+О). Режим термической обработки показан на рис. 1.

Испытание металла на разрыв производили на стандартных пятикратных образцах, определение ударной вязкости – на образцах с надрезом. Результаты механических испытаний и химического анализа, приведенные на рис. 2 и в табл. 1, показывают, что заметной разницы в прочностных свойствах литой, а также прибыльной и донной частей поковки не наблюдается [2].

Это объясняется положительным влиянием на эти свойства термической обработки и соответствует их идентичному содержанию основных элементов: С, Мп, 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 кованого 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 характеристикам, так и по ударной вязкости металл литой и кованой заготовок удовлетворяют требуемым значениям, указанным ранее [2].

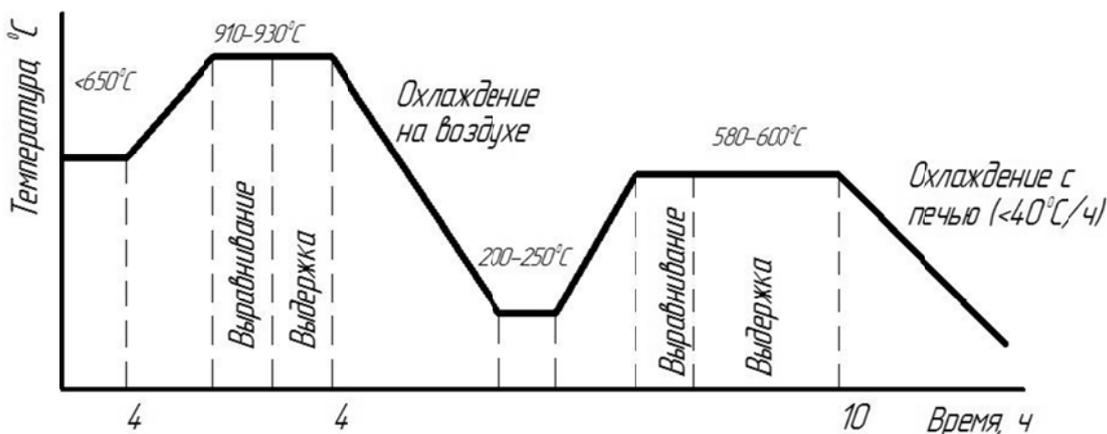


Рис. 1. Режим термической обработки – нормализации с отпускком

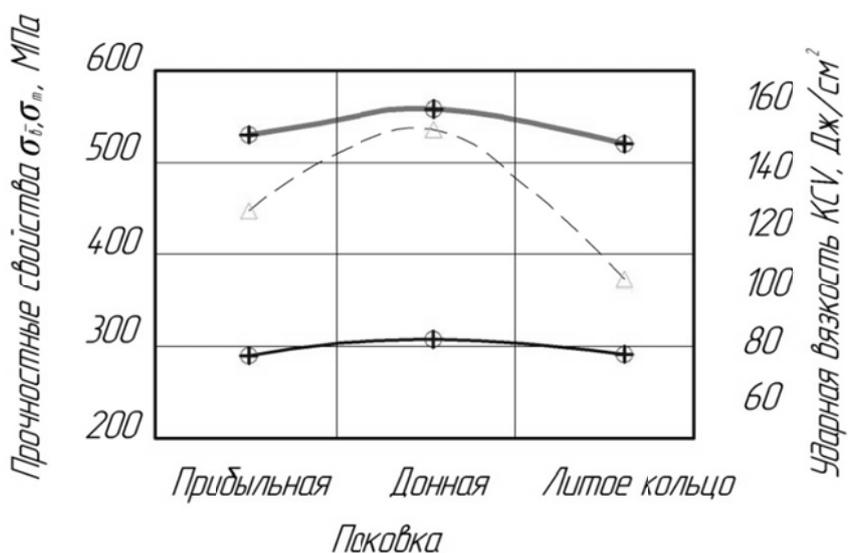


Рис. 2. Прочностные свойства (сплошная линия) и ударная вязкость (пунктирная) металла литой и кованой заготовок после Н+О

Таблица 2

Химический состав исследуемых заготовок

Вид заготовки		Химический состав, %				
		C	Mn	Si	S	P
Кованая заготовка	Прибыльная часть	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 часть	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

Пластические свойства, представленные на рис. 3, кованого металла выше, чем литого, что также объясняется более плотной структурой кованого металла, приобретенной в результатековки.

При металлографическом исследовании металла трещин и других дефектов не обнаружено. Серные отпечатки показали распределение серы в виде ликвационных участков, в ковном кольце соответствующих баллу 2, в литом баллу 3 шкалы серных отпечатков по Бауману.

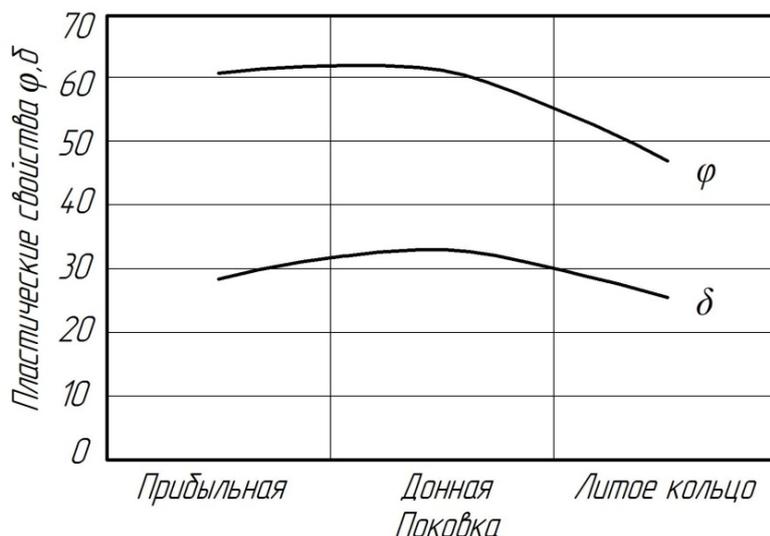


Рис. 3. Пластические свойства литой и ковеной заготовок

Оптимизацию состава металла шва, обеспечивающую 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 одной из указанных комбинаций (рис. 4).

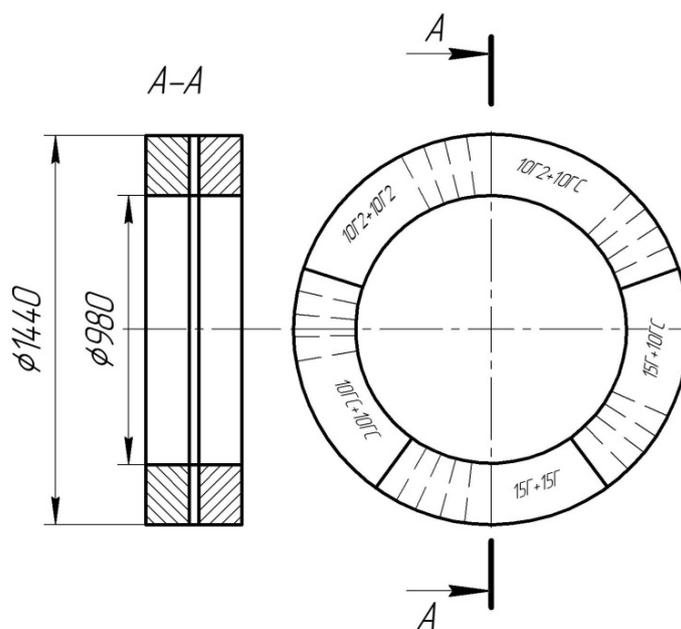


Рис. 4. Схема расположения участков сварного соединения, выполненного различными сварочными материалами

Електрошлакову сварку виконували на режимі: кількість електродних проволок діаметром 3 мм – 2 шт.; відстань між електродами – 123 мм, швидкість подачі електродної проволоки – 200 м/час; зварочний ток (в кожному електроді) – 450–500 А; напруга на шлаковій ванні – 48–50 В; глибина шлакової ванни – 40 мм; швидкість поперечних коливань – 36 м/час. При сварці застосовували флюс АН-8 складу:  $\text{SiO}_2$  – 32–38%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11,8 %;  $\text{FeO}$  – 1,6 %;  $\text{CaO}$  – 6,4 %;  $\text{MgO}$  – 7,6 %;  $\text{MnO}$  – 27,1 %;  $\text{CaF}_2$  – 13,48 %.

Після сварки зразок розрізали на п'ять частин, зварених проволоками різної комбінації за схемою, показаною на рис. 4. Кожну п'яту частину, в свою чергу розрізали на дві частини, одну з яких піддавали нормалізації з відпуском, другу – тільки відпуску за режимом, вказаному вище. Термообробочені заготовки розрізали на темплети товщиною 30 мм, шліфували і травили в 20 % розчині  $\text{HNO}_3$ . Макрошліфи перевіряли на відсутність дефектів і виготовляли зразки для механічних випробувань. Зразки розташовували на ділянках зварного з'єднання, рис. 5. Ударну в'язкість металу шва випробували на поперечних і продольних зразках з гострим надрізом.

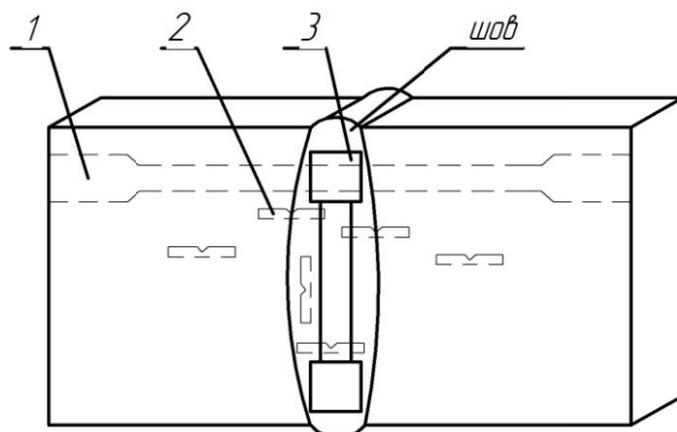


Рис. 5 Схема розташування зразків для механічних випробувань:

1 – плоско-розривний зразок; 2 – зразок для визначення ударної в'язкості; 3 – розривний зразок

Результати механічних випробувань зразків, що пройшли різну термообробку, наведено на рис. 6

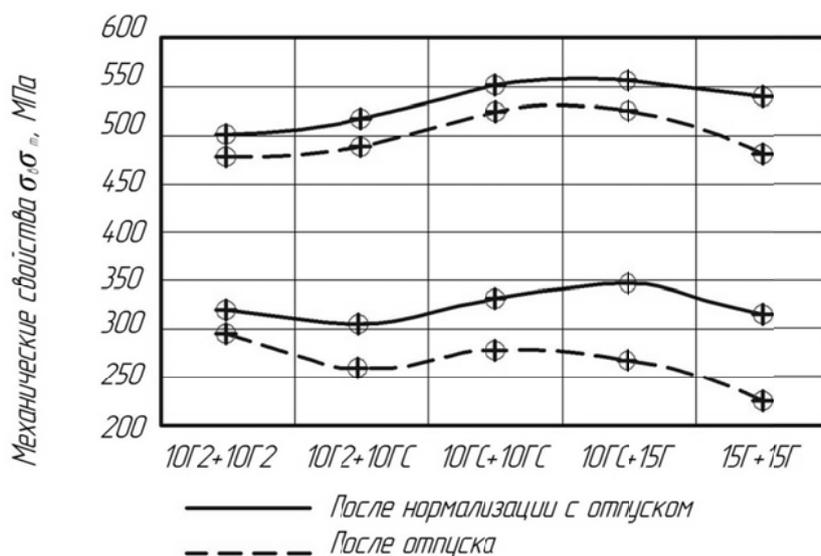


Рис. 6. Залежність прочностних властивостей металу шва від виду термообробки

Из рис. 6 видно, что прочностные свойства шва после нормализации, как и следовало ожидать, выше, чем у металла шва, прошедшего только отпуск для всех составов. Наибольшими значениями прочностных свойств после нормализации и после отпуска обладают швы: 10ГС+10ГС и 10ГС+15Г, что объясняется повышенным содержанием в них, в сравнении с другими составами, углерода и кремния [4].

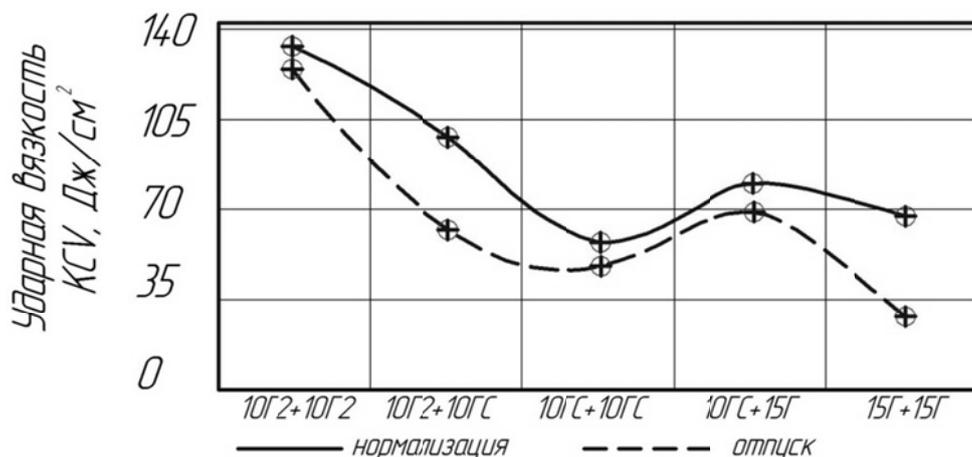


Рис. 7. Зависимость ударной вязкости металла шва от вида термообработки

Данные рис. 7 показывают, что минимальные значения ударной вязкости металла шва ( $\approx 68$  Дж/см<sup>2</sup>) после нормализации с отпуском полностью удовлетворяют техническим требованиям (50 Дж/см<sup>2</sup>). Показано также, что эти требования удовлетворяют и после одного отпуска, за исключением состава шва, полученного на комбинации проволок 15Г + 15Г, что можно объяснить увеличением в шве углерода. 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 на рис. 1. 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.

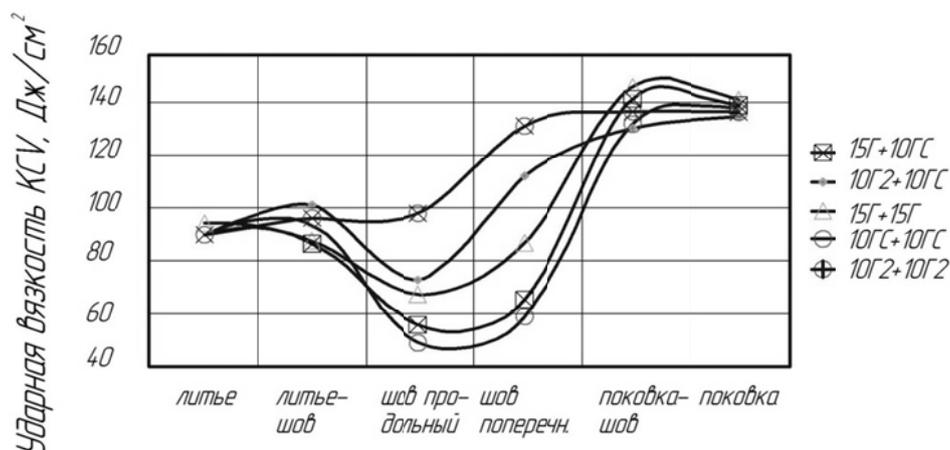


Рис. 8. Ударная вязкость различных участков сварного соединения

Анализ приведенных результатов показал, что вид свариваемой заготовки оказывает влияние на ударную вязкость околошовной зоны. Наиболее высокими значениями ее ( $\approx 140$  Дж/см<sup>2</sup>) обладает участок со стороны ковчаной заготовки (покровка – металл шва). В то время как со стороны литой заготовки (участок литье – шов) значение ударной вязкости составляет менее 100 Дж/см<sup>2</sup>.

Химический состав шва, выполненный различными проволоками, практически не влияет на ударную вязкость околошовной зоны, величина которой колеблется в пределах 135–145 Дж/см<sup>2</sup> – со стороны покровки и 90–100 Дж/см<sup>2</sup> – со стороны отливки.

### ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно заключить, что способ изготовления свариваемых заготовок (ковка, литье) влияет на свойства сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой; в состоянии после нормализации с отпуском металл околошовной зоны со стороны покровки имеет более высокие значения ударной вязкости (135–145 Дж/см<sup>2</sup>) чем со стороны литой (90–100 Дж/см<sup>2</sup>). Металл шва, прошедший только отпуск имеет несколько меньшие значения прочностных свойств, в сравнении со свойствами после нормализации с отпуском для всех комбинаций проволок. Пластические свойства металла шва после отпуска несколько выше, чем после нормализации с отпуском для всех комбинаций проволок. Для обеспечения требуемого уровня механических свойств металла шва после нормализации с отпуском рекомендуется применять стандартную проволоку Св-10Г2 или сочетание ее с проволокой Св-10ГС.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефименко Л. А. Влияние исходного структурного состояния металла на сопротивление сварных соединений хрупкому разрушению / Л. А. Ефименко, О. В. Коновалова // Свароч. пр-во, 1992. – № 8. – С. 5–8.
2. Семенов В. М. Оптимизация технологии ЭШС углеродистых сталей, отличающихся содержанием углерода / В. М. Семенов, Д. Б. Козоброд, М. М. Ивасенко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – № 5 (26). – С. 211–215.
3. Семенов В. М. Электрошлаковая сварка расходных электродов из литых заготовок / В. М. Семенов, В. П. Гулида, Е. М. Моисеев // Свароч. пр-во, 1998. – № 8. – С. 29–30.
4. Семенов В. М. Применение электрошлаковой сварки при производстве крупных сварных конструкций / В. М. Семенов, В. П. Гулида // Технология, организация и механизация сварочного производства. Реф. сб. – № 10-81-11. – М. : ЦНИИЭТИЯЖМАШ, 2000. – С. 9–14.