

УДК 678.5:621.791

А.Ю. Деревянных, Н.А. Кокоулин, А.Г. Коновалов, С.Е. Дударев

ОАО «Пермский завод «Машиностроитель»

Л.М. Клейнер

Пермский государственный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ЛЕГИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ МАРКИ 07ХЗГНМЮА

Проведены исследования по свариваемости стали 07ХЗГНМЮА с толщиной свариваемых кромок свыше 20 мм. По результатам проведенных исследований были изготовлены сварные конструкции с толщиной свариваемых кромок до 50 мм.

По ТУ 14-1-3370–2006 сортамент холоднокатаных листов имеет толщину от 1 до 3 мм, горячекатаных – от 4 до 20 мм, а по ОСТ 3-5627–84 «Сварка стали марки 07ХЗГНМЮА» [1] типовыми технологическими процессами предусмотрены: ручная дуговая сварка покрытыми электродами, ручная аргонодуговая сварка, механизированная сварка в среде защитных газов и сварка под слоем флюса, – толщиной свариваемых кромок до 20 мм. Применение горячекатаных и холоднокатаных листов ограничивается из-за отсутствия данных по свариваемости, которая зависит от состояния поставки, применяемых способов сварки и используемых материалов.

Для оценки свариваемости данной стали с толщиной свариваемых кромок свыше 20 мм были проведены опытные работы, по результатам которых стало возможным применение стали 07ХЗГНМЮА взамен восьми марок сталей, заложенных в первичной конструкторской документации.

Для реализации данного решения на ООО МЗ «Камасталь» была изготовлена листовая сталь. Используются листы плавок М₂–5956, М₂–4855, М₂–4853.

Химический состав металла и гарантируемые механические свойства соответствуют требованиям ТУ 14-1-3370–82 и ТУ 102–2003 (табл. 1, 2). Листы поставлены в отожженном состоянии с твердостью $d_{отп} = 4,0–4,8$ мм.

Таблица 1

Химический состав листовой стали марки 07Х3ГНМЮА

№ плавки	№ сертификата	Толщина листов, мм	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
M ₂ -5956	838 от 22.09, 861/618 от 23.09	10 40	0,09	0,90	0,25	0,016	0,011	3,03	1,06	0,24	0,15	0,02
M ₂ -4855	587/444 от 14.08	16	0,10	0,88	0,22	0,015	0,012	3,08	1,02	0,23	0,17	0,011
M ₂ -4853	492/418 от 08.08 468 от 08.08 471 от 08.08	10 40 50	0,09	0,95	0,28	0,015	0,01	3,20	1,18	0,24	0,15	0,018

Таблица 2

Гарантируемые механические свойства листовой стали 07Х3ГНМЮА по ТУ 14-1-3370–82 после закалки с отпуском

№ плавки	Толщина листов	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ
	мм	МПа		%
M ₂ -5956	10	1030	1080	13,0
		1020	1070	13,5
M ₂ -4855	10	1050	1130	16,0
		1030	1110	16,0
M ₂ -4853	16	1030	1080	16,0
		1040	1090	15,0

Режимы термической обработки и параметры сварки назначены с учетом научного задела и рекомендаций ОСТ 3-5627–84 «Типовой технологический процесс. Сварка стали 07Х3ГНМЮА», который распространяется на изготовление сварных соединений толщиной до 20 мм:

– упрочняющая термообработка: закалка 910 ± 10 °С, охлаждение на воздухе, отпуск ($300-350$) ± 10 °С, охлаждение на воздухе;

– отпуск после сварки $300-320$ °С. Время между сваркой и отпуском не ограничивается;

– сварка электродуговая по ГОСТ 14771–76 в среде защитного газа – смеси К2 (Ar 82 % + CO₂ 18 %), полуавтоматическая на ESAB (источник питания ESAB Mig 500tw, подающий механизм ESAB Feed 300–4). Сварочная проволока СВ08ГСМТ или СВ08Г2С;

– режим сварки:

- первый проход (корневой) $I = 230-240$ А, $U = 20-22$ В;
- последующие проходы $I = 270-280$ А, $U = 23-24$ В.

Качество сварных образцов проверено рентгеновским методом, УЗК, цветной дефектоскопией согласно принятым на ОАО «Машиностроитель»

методикам. Исследована макроструктура сварных швов на наличие непроваров, плен трещин и других дефектов. Определены механические свойства соединений. Образцы для исследования механических свойств вырезали согласно схемам, приведенным на рис. 1, разрывные – тип III ГОСТ 6996–66, ударные – тип VI ГОСТ 6996–66.

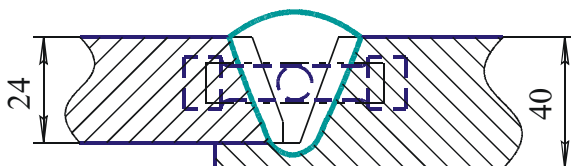
Определение характеристик прочности и ударной вязкости проводили на сварных соединениях, из которых возможно изготовить образцы согласно ГОСТу (рисунок). На остальных сварных соединениях измеряли твердость в зонах: О – основной металл, З – зона термовлияния, Ш – металл шва.

Разрывные образцы по ГОСТ 6996–66, тип III
Ударные образцы по ГОСТ 6996–66, тип VI, КСУ

Эскиз 1.1

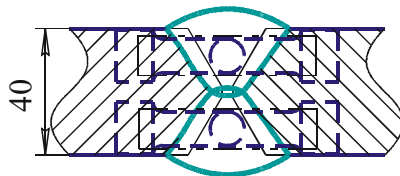


Эскиз 3.2



Эскиз 4.2

Эскиз 6.1



Эскиз 10.1

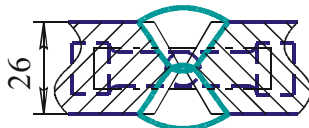


Рис. Схема вырезки разрывных и ударных образцов из сварных соединений

По результатам контроля качества, проведенного на ОАО «Машиностроитель», сварные образцы признаны годными. Результаты исследования характеристик механических свойств сведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики сварных соединений

№ образца (прогр. № 335)	Состояние перед сваркой	Отпуск после сварки $T = 320 \text{ }^\circ\text{C}$	σ , кгс/мм ²	Место разрыва	Твердость, НВ		Сварочная проволока	Количество проходов
					1	2		
1.1 $H = 30 \text{ мм}$	Упроч- ненное	+	66 66 66	По шву	O 302	–	08ГСМТ	7
					3 321	–		
					Ш 201	–		
					3 277	–		
					O 311	–		
2.3 $H = 30 \text{ мм}$	Отож- женное	+	–	–	O 207	–	08ГСМТ	5
					3 321	–		
					Ш 207	–		
					3 321	–		
					O 207	–		
3.2 $H = 22 \text{ мм}$	Отож- женное	–	66 66	По ос- новному металлу	O 207	–	08ГСМТ	4
					3 255	–		
					Ш 285–229	–		
					3 255	–		
					O 207	–		
4.2 $H = 40 \text{ мм}$	Отож- женное	+	66 67 66	По ос- новному металлу	O 207	O 207	08Г2С	8
					3 255	3 241		
					Ш 223	Ш 235		
					3 321	3 285		
					O 321	O 311		
5.2 $H = 30 \text{ мм}$	Отож- женное	–	–	–	O 207	–	08ГСМТ	5
					3 255	–		
					Ш 207	–		
					3 262	–		
					O 212	–		
5.3 $H = 30 \text{ мм}$	Отож- женное	+	–	–	O 217	–	08ГСМТ	5
					3 285	–		
					Ш 229	–		
					3 285	–		
					O 207	–		
6.1 $H = 40 \text{ мм}$	Отож- женное	+	66 66 66	По ос- новному металлу	O 201	O 207	08ГСМТ	8
					3 229	3 269		
					Ш 207	Ш 207		
					3 302	3 269		
					O 207	O 207		
10.1 $H = 26 \text{ мм}$	Отож- женное	–	67 67 67	По ос- новному металлу	O 207	–	08Г2С	4
					3 241	–		
					Ш 229	–		
					3 241	–		
					O 207	–		
8.1 $H = 40 \text{ мм}$	Отож- женное	+	–	–	O 197	O 192	08ГСМТ	8
					3 229	3 269		
					Ш 229	Ш 212		
					3 255	3 229		
					O 197	O 187		
8.2 $H = 40 \text{ мм}$	Отож- женное	–	–	–	O 207	–	08ГСМТ	8
					3 255	–		
					Ш 229–207	–		
					3 255	–		
					O 207	–		
9.2 $H = 50 \text{ мм}$	Отож- женное	–	–	–	O 207	O 207	08ГСМТ	10
					3 285	3 269		
					Ш 201	Ш 229		
					3 285	3 277		
					O 207	O 207		

Из полученных данных следует:

1. При сварке в термоупрочненном состоянии (рисунок, эскиз 1.1, $H = 30$ мм) обеспечивается твердость в основном металле и в зоне термовлияния более 300 НВ, что соответствует пределу текучести $\sigma_{0,2}$ более 80 кгс/мм² (КП80).

Прочность сварного соединения составляет $\sigma_b = 66$ кгс/мм², что соответствует прочности металла сварочной проволоки 08ГСМТ. Незначительное снижение твердости в зоне термовлияния (277 НВ) обусловлено смешением основного металла со сварочной проволокой в месте замера твердости.

Таким образом, прочность сварного соединения, изготовленного из термоупрочненных образцов, обусловлена прочностью сварочной проволоки и соответствует требованиям технической документации.

2. При сварке проволокой 08ГСМТ образцов в отожженном состоянии (рисунок, эскиз 3.2, $H = 22$ мм; эскиз 6.1, $H = 40$ мм) прочность сварного соединения соответствует прочности основного металла $\sigma_b = 66$ кгс/мм² (201–207 НВ).

Твердость различных зон сварного соединения образцов 2.3, 5.2, 5.3, 8.1, 9.2 толщиной 30, 40, 50 мм находилась в пределах 207–197 НВ, что соответствует прочности $\sigma_b = 70,5$ – $67,5$ кгс/мм², на одном образце (8.1) с одной стороны шва имелось два замера твердости со значениями 187 НВ и 192 НВ, что соответствует прочности $\sigma_b = 63,5$ кгс/мм² и $\sigma_b = 65$ кгс/мм².

Полученные результаты соответствуют требованиям технической документации.

3. При сварке проволокой 08Г2С образцов в отожженном состоянии (рисунок, эскиз 4.2, $H = 40$ мм; эскиз 10.1, $H = 26$ мм) получены результаты, аналогичные получаемым при сварке проволокой 08ГСМТ. Прочность сварного соединения соответствовала прочности основного металла ($\sigma_b = 66$ кгс/мм², 207 НВ).

4. Отпуск после сварки не повлиял на характеристики прочности сварных соединений, полученных с использованием проволоки 08ГСМТ и 08Г2С. Следует отметить, что исследованные сварные соединения относятся к простым по конструкции. Следовательно, для простых соединений проводить отпуск нецелесообразно. Отпуск для сложных соединений, к которым относятся соединения с кольцевыми и многократно пересекающимися швами, применять желательнее.

5. Сварные соединения из отожженных образцов обеспечивают прочность не менее КП66 и позволяют гарантировать соответствие техническим требованиям, предъявляемые к сталям Д40S и Д36.

6. В сварных соединениях термоупрочненных образцов основной металл обеспечивает требования к сталям типа АК с КП 70-КП80. Прочность

сварных соединений толщиной более 20 мм определяется прочностью металла шва, т.е. проволокой 08ГСМТ или 08Г2С.

Сделаем следующие выводы:

1. Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности применения стали 07Х3ГНМЮА взамен восьми марок сталей, предусмотренных первичной технической документацией. В результате осуществляется унифицированный технологический процесс сварки и термической обработки различных свариваемых элементов и сварных соединений. Показана возможность использования листа, термообработанного в условиях листопрокатного цеха изготовителя металла.

2. Рекомендуются для сварки режимы, установленные при изготовлении сварных образцов. Для простых сварных соединений отпуск не требуется. Для сложных сварных соединений целесообразно проводить отпуск при температуре 300–350 °С. Категорию сложности определяет разработчик конструкторской документации.

3. Проведенные исследования позволили внедрить данную сталь при изготовлении крупногабаритных многотонных сборочных единиц.

Получено 10.08.2010