

Исследование предварительного и послесварочного подогрева на величину ударной вязкости при сварке высокопрочных легированных сталей

Студенты гр. 104817 Громов С.А., Левицкий А.Г.

Научный руководитель – Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет г. Минск

Целью данной работы является исследование предварительного и послесварочного нагревов, а именно температуры и длительности процессов на изменение ударной вязкости при сварке высококачественных легированных сталей: 14ХГ2САФД и 12ГН2МФАЮ.

Применение предварительного подогрева высокопрочных легированных сталей перед сваркой вызвано необходимостью повышения сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин. Интервал предварительного нагрева значительно широк - от 50 до 250 °С и определяется химическим составом сталей, толщиной свариваемых изделий, особенностями свариваемых конструкций и др.

В некоторых случаях при сварке высокопрочных легированных сталей необходим также послесварочный подогрев ($T_{п.п.}$) или «отдых». Как правило, рекомендуемая температура отдыха колеблется от 200 °С, а продолжительность этой операции составляет около 10 ч.

Учитывая время, затрачиваемое на предварительный подогрев, сварку, послесварочный подогрев, можно сказать, что сварочные соединения из высокопрочных легированных сталей находятся длительное время нагретыми при 200°-250 °С. Это способствует старению отдельных структурных зон и сварного соединения в целом. Интенсивность старения особенно заметна при содержании в металле растворённого азота более 0,003% и ускоренном охлаждении ниже температуры A_{C1} , что связано, по литературным данным, с выделением нитридов железа $\alpha-Fe_{16}N_2$. Старение сварных соединений рассматриваемых сталей возможно также в случае длительного нагрева при температуре 130-150 °С.

Высокопрочные легированные стали 13ХГМРБ и 12ГН2МФАЮ содержат 0,02-0,03% азота, а также значительное количество карбидо- и нитридообразующих элементов (алюминия, ванадия, хрома, ниобия, молибдена), а их суммарное содержание составляет: $\sum Al, V, Nb = 0,01 - 0,04\%$. Введенные легирующие элементы, с одной стороны, придают прочностные и другие свойства сталям, а с другой – способствуют протеканию процессов старения в зоне термического влияния (ЗТВ). В результате этого снижается не только ударная вязкость сварных соединений, но и их сопротивляемость замедленному разрушению.

Стыковые соединения сталей 13ХГМРБ и 12ГН2МФАЮ с х-образной разделкой кромок, толщиной 12 мм были сварены проволокой Св08ХН2ГМЮ диаметром 1.2 мм в смеси Ar+CO₂ при $q_{св}=14$ кДж/см. Осуществляем предварительный нагрев соединений при температуре 20-250 °С, а также предварительный нагрев в сочетании с послесварочным.

Выбор температур $T_{п}$ и $T_{п.п.}$ основан на известных технологических рекомендациях и опыте изготовления сварных конструкций из высокопрочных сталей в условиях производства. Данные по содержанию карбидо- и нитридообразующих элементах в сталях 13ХГМРБ и 12ГН2МФАЮ, режимы предварительного и послесварочного нагревов, а также значения ударной вязкости сварных соединений названных сталей представлены в таблице.

Таблица 1 – Режимы предварительного и послесварочного нагревов, а также значения ударной вязкости сварных соединений

Марка стали	№ образца	Предварительный подогрев		Послесварочный подогрев	
		$T_{п}$, °С	τ , ч	$T_{п.п.}$ °С	τ , ч
13ХГМРБ	1	20	-	-	-
	2	20	-	130	2.0
	3	20	-	130	16.0
	4	130	1.5	-	-
	5	130	1.5	130	2.0
	6	130	1.5	130	4.0
	7	250	1.0	-	-
	8	250	1.0	250	4.0
	9	250	1.0	250	16.0
12ГН2МФАЮ	10	20	-	-	-
	11	130	1.5	-	-
	12	130	1.5	130	2.0
	13	250	1.0	-	-
	14	250	1.0	250	2.0
	15	250	1.0	250	4.0

Для моделирования и оптимизации значений ударной вязкости в зависимости от температуры и длительности нагрева был проведён эксперимент с использованием методов математического планирования. Результаты опытов приведены в таблице 1.

Таблица 2 – Матрица плана 9×10

№	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4
1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
2	-1	+1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	-1	+1	-1	+1	-1	1	-1	-1	-1	-1
4	-0.043	0	+1	-1	0	-0.043	+0.043	0	0	-1
5	-0.043	0	+1	+1	0	-0.043	-0.043	0	0	+1
6	-0.043	0	-1	-0.7	0	0.043	0.03	0	0	0.7
7	+1	0.5	-1	-1	0.5	-1	-1	-0.5	-0.5	1
8	+1	0.5	+1	-0.7	0.5	1	-0.7	0.5	-0.35	-0.7
9	+1	0.5	+1	+1	0.5	1	1	0.5	0.5	1

x_1, x_2, \dots - кодировочные уровни факторов.

Кодирование уровней факторов проводили по формуле:

$$x_i = \frac{x_i - 0.5(x_{i \max} + x_{i \min})}{0.5(x_{i \max} - x_{i \min})},$$

где x_i - кодированный уровень i -го фактора, $x_i, x_{i \max}, x_{i \min}$ – натуральные значения текущего максимального и минимального уровней i -го фактора.

После обработки результатов эксперимента и проверки значимости коэффициентов уравнений регрессии были получены следующие адекватные уравнения:

Сталь 12ГН2МФАЮ:

$$y = +30.5 x_1 + 28.6 x_3 - 14.5 x_2 x_3.$$

Сталь 13ХГМРБ:

$$y = -73.3 x_1 + 16 x_1 x_4 + 34 x_2 x_3.$$

Из уравнений видно, что на величину ударной вязкости сварных соединений сталей: 13ХГМРБ и 12ГН2МФАЮ сильное влияние оказывают: параметр предварительного нагрева, а также сочетание предварительного нагрева с течением времени.