

©Ефименко Н.Г., Атоженко О.Ю.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА СВАРКИ С АВТОПОДОГРЕВОМ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ 15Х1М1ФЛ

1. Состояние вопроса и задачи исследования

Известен способ многопроходной сварки крупногабаритных изделий больших толщин способом поперечной горки [1, 2], который без предварительного подогрева и последующей термообработки обеспечивает высокие служебные характеристики сварных конструкций при эксплуатации. Это имеет особую важность при изготовлении и ремонте корпусных деталей турбин из теплоустойчивых сталей 15Х1М1ФЛ, когда выполнение требований РТМ не всегда представляется возможным.

Высокое сопротивление хрупкому разрушению обеспечивает надежную работу сварных конструкций металла сварных соединений. Одним из критериев оценки склонности к хрупкому разрушению является ударная вязкость, определяемая при испытании стандартных образцов с острым надрезом (КСV). В данной работе были проведены исследования влияния сварки способом поперечной горки на ударную вязкость, полученную при испытании образцов с острым надрезом в различных участках сварных соединений из стали 15Х1М1ФЛ.

2. Материалы и методика исследований

Материалом для исследования послужили заготовки, отлитые в заводских условиях и термообработанные по производственному режиму (нормализация – 970-1000 °С; отпуск – 720-750°С). Размеры заготовок: диаметр – 120 мм, длина – 300 мм. Вдоль длины заготовок в средней их части механическим способом

производились выборки шириной 40 мм, высотой 60 мм и длиной 120 мм, которые заваривались способом многослойной поперечной горки без предварительного и сопутствующего подогрева. Заварку выполняли ручным и дуговым способом электродами типа

Э-09Х1МФ марки ТМЛ-3У, диаметром 4 мм на режимах: $I_{св}=160-170$ А, $U_{св}=28$ В. Толщина наплавляемых слоев ~ 4 мм.

После сварки одну из заготовок подвергали отпуску при температуре 720-750°C с выдержкой 3 ч. Заготовки разрезались в поперечном направлении на темплеты для проведения макроанализа. При макроанализе дефектов в наплавленном металле и зоне термического влияния не обнаружено и установлено, что ширина ЗТВ составляет 2,5-3,8 мм. Из вырезанных темплетов изготавливались ударные образцы с острым надрезом (KCV). На рис. 1 показана схема вырезки образцов из различных участков сварных соединений.

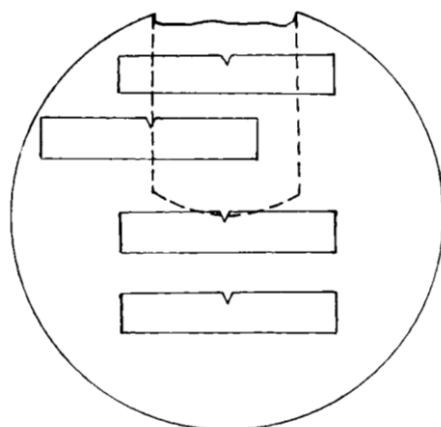


Рис. 1 – Схема вырезки образцов для ударных испытаний (KCV) из различных участков сварных соединений стали 15Х1М1ФЛ, выполненных способом поперечной горки

Следует заметить, что наиболее опасным участком хрупкого разрушения считается околошовная зона, поэтому в средней части шва образцы вырезались с учетом того, чтобы острое надреза располагалось в высокотемпературной области ЗТВ или на границе сплавления; образцы из донной части шва вырезались таким образом, чтобы острое надреза находилось в ЗТВ ниже границы сплавления на 0,5 мм.

Как известно [3, 4], метод испытания образцов с острым надрезом является наиболее чувствительным в отношении определения склонности металла к хрупким разрушениям и дает хорошие результаты после испытаний при невысоких плюсовых температурах и минусовых температурах, поэтому в данной работе образцы испытывались при +20 и +100°C и при отрицательных температурах (от 0 до -60°C).

3. Результаты исследований

Установлено, что при температурах испытания от -40°C до +20°C ударная вязкость в ЗТВ значительно выше, чем в основном металле в образцах как в состоянии после сварки без термической обработки (рис. 2), так и после высокого отпуска (рис. 3).

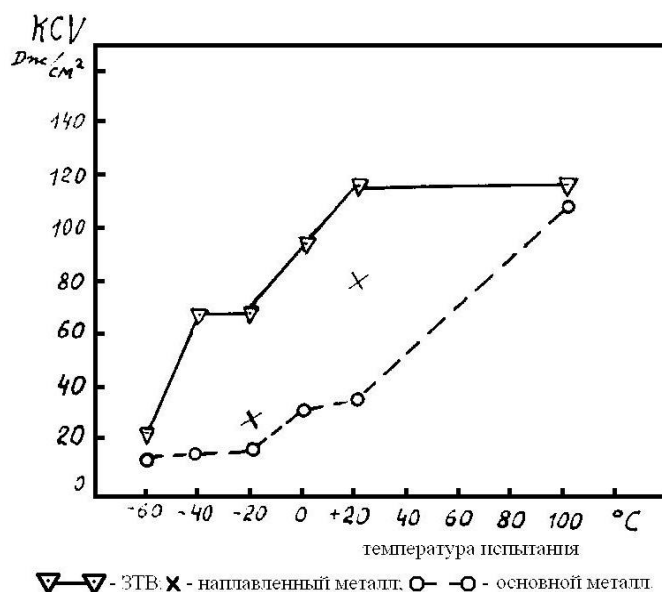


Рис. 2 – Изменение ударной вязкости в различных участках сварного соединения стали 15X1M1ФЛ, выполненного способом поперечной горки и не подвергавшегося после сварки термической обработке

В наплавленном металле KCV также выше, чем в основном, особенно в отпущенном состоянии при температуре испытания +20 °C (рис. 3). При температуре испытания -20 °C значения KCV наплавленного металла сильно снижаются, приближаясь к значениям основного металла. Представленные

результаты испытаний указывают на то, что после сварки способом поперечной горки в зоне термического влияния вблизи границы сплавления образуется структура с более высоким сопротивлением хрупкому разрушению по сравнению с основным и наплавленным металлом. При этом переходная критическая температура хрупкости смещается к отрицательным температурам.

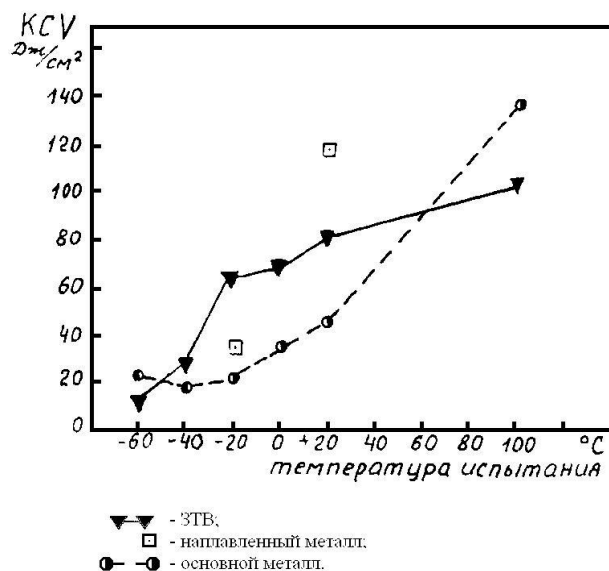


Рис. 3 – Изменение ударной вязкости различных участков сварного соединения стали 15X1M1ФЛ, выполненного способом поперечной горки и подвергнутого высокому отпуску после сварки

Основной металл – сталь 15X1M1ФЛ перед сваркой находился в термообработанном состоянии (по штатной технологии он подвергался нормализации и высокому отпуску), поэтому представляло интерес сравнить KCV заготовок без термической обработки и с высоким отпуском после сварки. Установлено (рис. 4), что последующий после сварки высокий отпуск повышает KCV основного металла при всех температурах испытания образцов на небольшую величину, что не противоречит общим представлениям об улучшении структуры отпущенной стали и дополнительном снятии напряжений при повторном отпуске [3, 5].

Ранее отмечалось, что в высокотемпературной области ЗТВ заготовок без термической обработки и с высоким отпуском после сварки способом поперечной горки KCV намного выше, чем в основном металле. Представляет

интерес сравнить полученные данные между собой. Как видно из графиков (рис. 5 и рис. 6), почти при всех температурах испытания ударная вязкость значительно выше у образцов, вырезанных из заготовок, которые после сварки не подвергались термической обработке. Такой результат получен дважды – как при испытании образцов, вырезанных из донной части швов (рис. 5), так и при испытании образцов, вырезанных из средней части швов (рис. 6). Заметное снижение значений KCV наблюдается при температуре 0°C (рис. 5) и при температуре -20°C (рис. 6), причем для образцов без термической обработки и образцов с высоким отпуском эти значения в обоих вариантах совпадают.

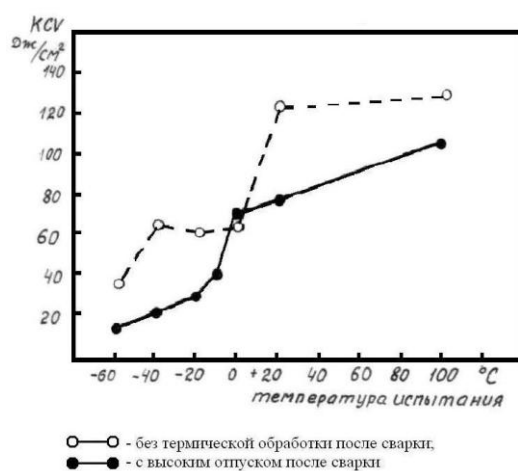


Рис. 4 – Изменение ударной вязкости основного металла сварного соединения стали 15X1M1ФЛ, выполненного способом поперечной горки

Следовательно, критическая температура хрупкости в высокотемпературной области ЗТВ определяется структурой, полученной после сварки способом поперечной горки, и ее положение не изменяется в результате проведения высокого отпуска.

Объяснение этому можно найти, если принять во внимание, что при многослойной сварке поперечной горкой металл ЗТВ подвергается значительным пластическим деформациям и напряжениям в условиях постоянно меняющихся температур нагрева и охлаждения. При этом наряду с фазовыми превращениями в металле происходят процессы упрочнения и разупрочнения, как при термомеханической обработке [6], в результате чего

вследствие полигонизации и рекристаллизации создается измельченная субзеренная структура металла. Это повышает ударную вязкость и снижает критическую температуру хрупкости.

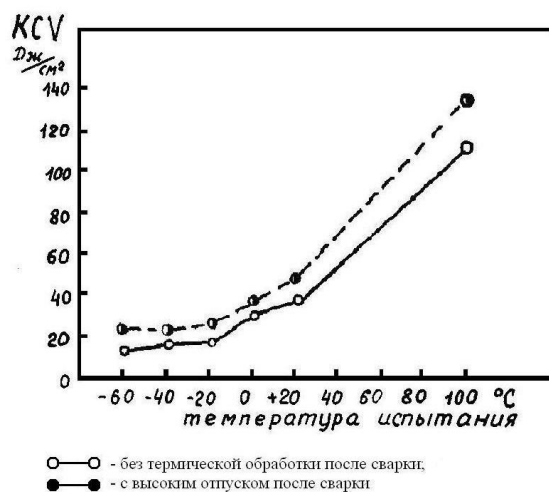


Рис. 5 – Изменение ударной вязкости металла донной части сварных швов стали 15X1M1ФЛ, выполненных способом поперечной горки. Острие надреза расположено в ЗТВ ниже границы сплавления на 0,5 мм

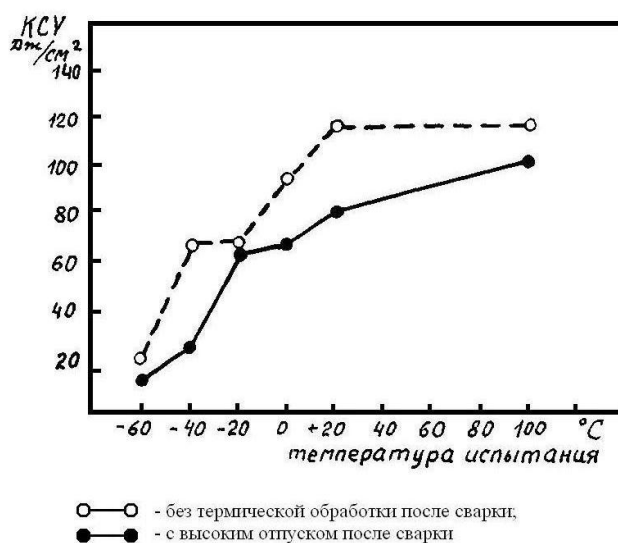


Рис. 6 – Изменение ударной вязкости металла средней части сварных швов стали 15X1M1ФЛ, выполненных способом поперечной горки. Острие надреза расположено в высокотемпературном участке ЗТВ

Следует учитывать также тот факт, что сам процесс сварки способом поперечной горки происходит с автоподогревом, который приводит к самоотпуску околошовной зоны свариваемого металла. В наплавленном

металле происходит автотермообработка слоев, выполненных ранее, теплом, выделяющимся при наплавке последующих. При этом совершенно очевидно, что структура высокотемпературной области зоны термического влияния и наплавленного металла после сварки находится в отпущенном состоянии, существенно влияющем на повышение ударной вязкости.

Снижение ударной вязкости в ЗТВ после высокого отпуска (который по сути является дополнительным) связано с процессами старения, которые приводят на определенной стадии к охрупчиванию металла.

При изучении изломов было замечено, что в образцах с надрезом в высокотемпературной области ЗТВ после испытания при температурах 0°C и $+20^{\circ}\text{C}$ образуются смешанные изломы с содержанием вязкой составляющей от 10 до 80 % независимо от того подвергалось ли сварное соединение высокому отпуску или нет. В образцах из наплавленного металла в обоих случаях при температуре испытания $+20^{\circ}\text{C}$ также образуется смешанный излом, но больше вязкой составляющей после высокого отпуска ($\sim 20\%$). Особенностью строения изломов образцов наплавленного металла является то, что в них блестящие кристаллы хрупкой составляющей имеют направленную столбчатую ориентацию (рис. 7). Это указывает на то, что разрушение ударных образцов происходило по границам первичных кристаллитов структуры затвердевания, и что зерна аустенита наплавленного металла наследуют величину, форму и ориентировку исходных зерен [7]. Однако, конечная бейнитная структура обеспечивает стойкое сопротивление хрупкому разрушению, поэтому KCV в наплавленном металле значительно выше, чем в основном металле (рис. 2 и рис. 3).

В образцах основного металла (независимо от обработки после сварки) при температуре испытания $+20^{\circ}\text{C}$ образуется 100% хрупкие изломы с блестящими фасетками, а при температуре $+100^{\circ}\text{C}$ образуются вязкие волокнистые изломы.

Это соответствует известным данным работ [3, 5] и подтверждает, что критическая температура хрупкости для стали 15X1M1ФЛ находится при температуре выше $+20^{\circ}\text{C}$.

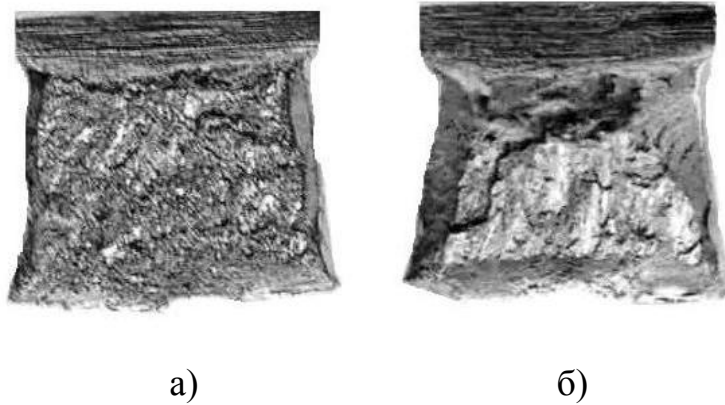


Рис. 7 – Изломы ударных образцов металла шва после испытания при +20°C: а) – без термической обработки после сварки; б) – с высоким отпуском после сварки (x4)

Появление вязкой составляющей в изломах высокотемпературной области ЗТВ и металла шва после испытания при температурах +20°C и 0°C указывает на снижение температуры перехода из вязкого в хрупкое состояние и повышение сопротивления хрупким разрушениям в этих зонах сварных соединений, полученных способом поперечной горки без предварительного подогрева. Следует заметить, что в рамках проведенного эксперимента результаты испытаний ударных образцов KCV и изучение их изломов не дают возможности конкретно установить критическую температуру хрупкости для различных зон сварных соединений, но можно сделать следующие выводы.

Выводы

1. При всех температурах испытания, как без термической обработки, так и с высоким отпуском после сварки, в высокотемпературной области ЗТВ и металле шва KCV выше, чем в основном металле.

2. По сравнению с основным металлом переходная температура хрупкости высокотемпературной области ЗТВ и металла шва сдвигается в сторону снижения температуры на 20-40°C, что повышает сопротивление хрупким разрушениям и уменьшает опасность образования холодных трещин после охлаждения сварных соединений.

3. Термическая обработка после сварки в виде высокого отпуска по штатной технологии не влияет на положение переходной температуры хрупкости всех зон сварного соединения, а KCV в высокотемпературной области ЗТВ выше в тех заготовках, которые после сварки не подвергались термообработке. Это дает основание сделать вывод о практической целесообразности применения способа поперечной горки без подогрева и последующей термической обработки (высокого отпуска) при заварке дефектов отливок из теплоустойчивой стали 15X1M1ФЛ [8].

Список использованных источников:

1. Синадский С. Е. Автоподогрев и автотермообработка при сварке поперечной горкой / С. Е. Синадский, В. И. Панов // Сварочное производство. – 1985. – №11. – С. 3–5.

2. Баженов В. В. Влияние сварки способом поперечной горки на свойства сварных соединений из термоупрочненных сталей / В. В. Баженов, С. Е. Синадский, В. И. Панов // Сварочное производство. – 1982. – №12. – С. 14–17.

3. Козлов Р. А. Сварка теплоустойчивых сталей / Р. А. Козлов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 160 с.

4. Нетеса Е.М. Сопротивляемость хрупкому разрушению стали 15X1M1ФЛ с различной структурой зоны термического влияния / Е. М. Нетеса, О. П. Фомина, Н. Е. Левенберг // Вестник Харьк. политехн. ин-та. – Х., 1986. – №239: Прогресс. Технология обработки металлов. – Вып. 7 – С. 13–15.

5. Герман С. И. Электродуговая сварка теплоустойчивых сталей перлитного класса / С. И. Герман. – М.: Машиностроение, 1972. – 200 с.

6. Бернштейн М. Л. Прочность стали / М. Л. Бернштейн. – М. : Металлургия, 1974. – 200 с.

7. Шрон Р. З. Высокотемпературные трещины в металле швов теплоустойчивых перлитных сталей / Р. З. Шрон, И. Ф. Небесова, Г. М. Александрова // Сварочное производство. – 1975. – № 10. – С. 27–29.

8. Панов В. И. Универсальная методика ремонтной сварки крупногабаритных конструкций тяжелого машиностроения / В. И. Панов // Сварочное производство. – 2007. – № 4. – С. 11–17.

Ефименко Н.Г., Атоженко О.Ю. «Особенности влияния способа сварки с автоподогревом на ударную вязкость сварного соединения стали 15X1M1ФЛ».

Исследовали влияние сварки без подогрева способом поперечной горки стали 15X1M1ФЛ на ударную вязкость разных зон сварных соединений при испытании стандартных образцов с острым надрезом. Ударная вязкость высокотемпературной области ЗТВ и наплавленного металла выше, чем у основного металла, и переходная температура хрупкости этих зон снижается на $20\div 40^{\circ}\text{C}$, что повышает сопротивление хрупкому разрушению. Ударная вязкость ЗТВ выше в том случае, когда термическая обработка после сварки не проводилась. Это объясняется измельчением субзеренной структуры, что обусловлено процессами полигонизации и рекристаллизации.

Ключевые слова: сталь 15X1M1ФЛ, сварка, ударная вязкость, хрупкое разрушение, термическая обработка, субзеренная структура.

Єфіменко М.Г., Атоженко О.Ю. «Особливості впливу способу зварювання з автопідігрівом на ударну в'язкість зварного з'єднання сталі 15X1M1ФЛ».

Досліджували вплив зварювання без підігріву способом поперечної гірки сталі 15X1M1ФЛ на ударну в'язкість різних зон зварних з'єднань при випробуванні стандартних зразків з гострим надрізом. Ударна в'язкість високотемпературної області ЗТВ і наплавленого металу вища, ніж у основного металу, і перехідна температура крихкості цих зон знижується на $20\div 40^{\circ}\text{C}$, що підвищує опір крихкому руйнуванню. Ударна в'язкість ЗТВ вища у тому разі, коли термічна обробка після зварювання не проводилась. Це пояснюється

подрібненням субзеренної структури, що обумовлено процесами динамічної полігонізації і рекристалізації.

Ключові слова: сталь 15Х1М1ФЛ, зварювання, ударна в'язкість, крихке руйнування, термічна обробка, субзеренна структура.

Yefimenko N.G., Atozhenko O.Yu. “Special Features of Influence of Self-Heating Welding on Impact Elasticity of HAZ (Heat-Affected Zone) and Weld Metal of Cr-Mo-V Steel”.

Impact of welding 15Х1М1ФЛ (chrome-molybdenum-wolfram) steel using the split pass method without heating to impact elasticity of different zones of welded joints were studied during testing of reference specimens with sharp notch. Impact elasticity of the heat-affected zone and the weld bead was higher than those of the parent metal, and the fragility transition temperature of these zones is 20° to 40°C lower which increases resistance to brittle failure. Impact elasticity of the heat-affected zone is higher when there was no heat treatment after welding. It can be explained with the reduction of the sub-grain structure caused by the dynamic polygonization and re-crystallization processes.

Key words: steel Cr-Mo-V, welding, elasticity, brittle failure, heat treatment, sub-grain structure.

Стаття надійшла до редакції 25 травня 2011 р.