

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРУ И СКЛОННОСТЬ К ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ 15Х1М1ФЛ, ВЫПОЛНЕННЫХ БЕЗ ПОДОГРЕВА

Н. Г. ЕФИМЕНКО¹, С. В. АРТЕМОВА², С. Н. БАРТАШ¹

¹НТУ «Харьковский политехнический институт». 61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21. E-mail: svarka126@ukr.net

²ПАО «Турбоатом». 61037, г. Харьков, Московский просп., 199

Исследовалась структура и свойства металла высокотемпературной области ЗТВ и шва при сварке стали 15Х1М1ФЛ на повышенных режимах способом поперечной горки без подогрева. При сравнении полученных результатов с данными исследования процесса сварки на умеренных режимах (160...170 А) установлено, что повышение тока до 200...210 А приводит к возрастанию склонности к хрупкому разрушению высокотемпературной области ЗТВ и металла шва, причиной которого является высокая твердость, обусловленная присутствием в структуре бейнита мартенситной составляющей. Библиогр. 3, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: сталь, сварка, подогрев, бейнит, мартенсит, хрупкость, свойства, структура

Формирование структуры и свойств в различных зонах сварных соединений определяется толщиной свариваемого металла и его химическим составом, а также параметрами технологического процесса — воздействием термического цикла сварки на металл [1].

В ранее выполненных исследованиях [2] показано, что способ сварки поперечной горкой стали 15Х1М1ФЛ на умеренных режимах без подогрева и термической обработки обеспечивает высокие показатели механических свойств сварных соединений. Вместе с тем целесообразным с практической точки зрения является исследование влияния повышенных режимов на структуру и механические свойства, чему и была посвящена настоящая работа.

Экспериментальные исследования проводились на плитах размером 250×200×110 мм, отлитых в заводских условиях и подвергнутых после литья термической обработке, состоящей из гомогенизации: 1010...1030 °С; нормализации:

970...1000 °С и высокого отпуска при температуре 720...740 °С.

Для выполнения швов в средней части плит вдоль длины 250 мм механическим способом проводились выборки металла, которые заваривались способом поперечной горки электродами ТМЛ-3У диаметром 4 мм без предварительного и сопутствующего подогрева при токе 200...210 А. Последующая термообработка не проводилась.

Образцы для механических испытаний и структурных исследований изготавливались из темплетов, вырезанных в поперечном направлении в верхней, средней и донной частях сварного шва (рис. 1). Изучалась макро- и микроструктура, величина зерна, которая определялась по ГОСТ 5639–82 и по методу случайных секущих [2]. Измерялась твердость (*HV5*), определялись характеристики прочности, пластичности, ударной вязкости *KCV* при температурах –20; 0; 20 и 100 °С. Полученные результаты испытаний сравнивались

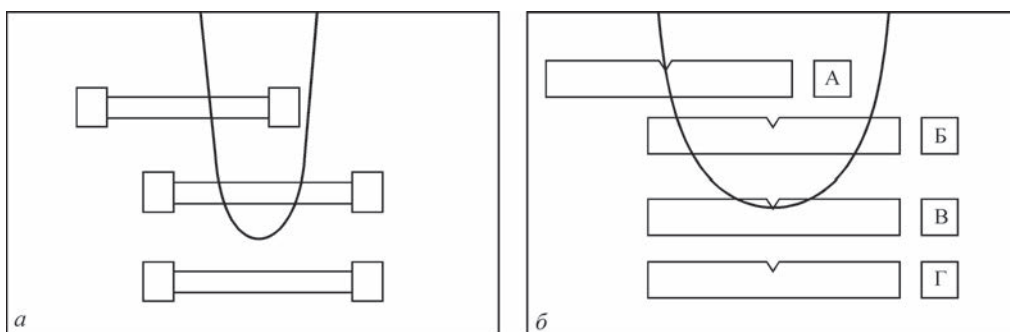


Рис. 1. Схема вырезки образцов из сварного соединения стали 15Х1М1ФЛ: а — образцы для испытания на растяжение; б — образцы для испытания на ударный изгиб (А–Г — иллюстрация мест надреза)

Показатели твердости *HV5* металла высокотемпературной области ЗТВ сварного соединения стали 15X1M1ФЛ в сечениях на различных уровнях от поверхности шва

Номер варианта	Сварочный ток <i>I</i> , А	Расстояние от поверхности шва, мм		
		10	25	40
		Твердость <i>HV5</i>		
1	160...170	277...278	276...278	281...287
2	200...210	360...368	388...405	365...366
3	В соответствии с типовой технологией	—	355...358	—

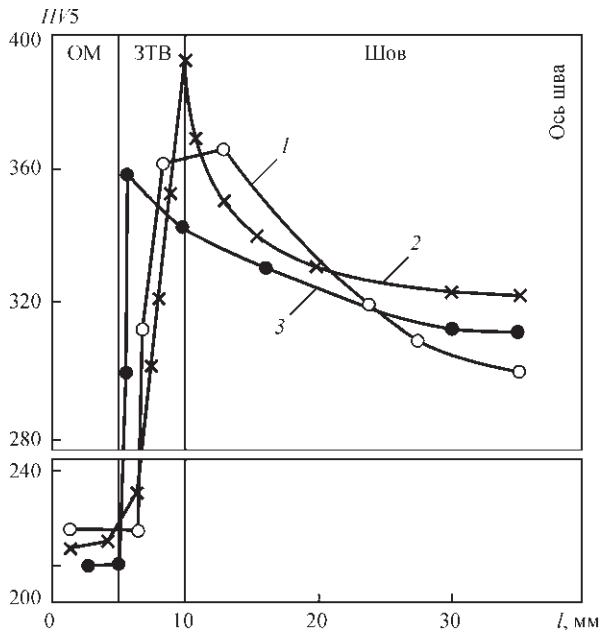


Рис. 2. Изменение твердости металла сварного соединения на стали 15X1M1ФЛ, выполненного без подогрева, на уровнях от поверхности шва: 1 — 10; 2 — 25; 3 — 40 мм. Ток сварки 200...210 А

с данными ранее выполненными нами исследований после сварки на токах 160...170 А [2].

При макроанализе установлено, что высота шва составляет 65 мм, ширина — 55 мм, а зона термического влияния имеет ширину 3...4 мм. Макродефектов в шве не обнаружено. График изменения твердости приведен на рис. 2.

Для сравнения в таблице приведены данные о твердости в высокотемпературной области ЗТВ и металле шва в сравнении с основным металлом после сварки поперечной горкой на различных значениях тока, а также после сварки по типовой технологии.

Следует отметить, что при сварке на повышенных режимах (табл., вар. 2) на всех уровнях поперечного сечения сварного соединения твердость в околошовной зоне и металле шва значительно превышает твердость в этих зонах в соединениях, заваренных на умеренных режимах (табл., вар. 1). Вместе с тем уровни твердости в сварных соединениях, выполненных СПГ и по типовой технологии, близки (см. таблицу).

На основании результатов испытаний образцов на растяжение установлено, что повышение режимов сварки приводит к снижению прочно-

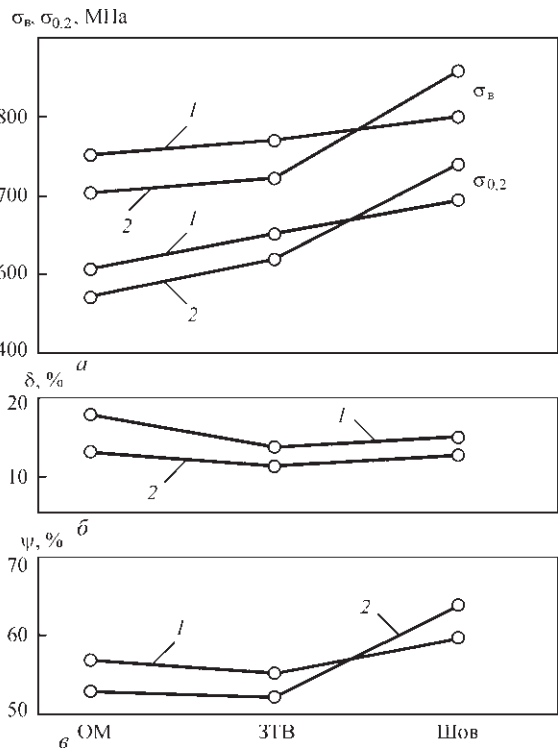


Рис. 3. Механические свойства различных зон сварного соединения стали 15X1M1ФЛ: 1 — 160...170 А; 2 — 200...210 А сти и пластичности металла ЗТВ по отношению к металлу шва (рис. 3, а). При этом прочность металла ЗТВ несколько выше, а пластичность ниже основного металла. Наиболее высокими показателями прочности и пластичности характеризуется металл шва (рис. 3, б, в). Если сравнивать варианты сварки, то для второго варианта прочностные и пластические характеристики шва выше, однако ниже степень равнопрочности сварного соединения. Прочность и пластичность металла ЗТВ несколько ниже для второго варианта, что может быть отнесено на счет повышения неоднородности твердости и структуры.

При металлографических исследованиях установлено, что структура высокотемпературной области ЗТВ, то есть перегретого металла и частично расплавленных зерен, неоднородная. Микроструктура состоит из бейнита различной морфологии, наряду с верхним бейнитом присутствуют участки нижнего бейнита с достаточно выраженной ориентацией карбидной фазы (рис. 4, б). Эти участки расположены в переходной области зоны сплавления основной металл–шов. Участки высокотемпературной

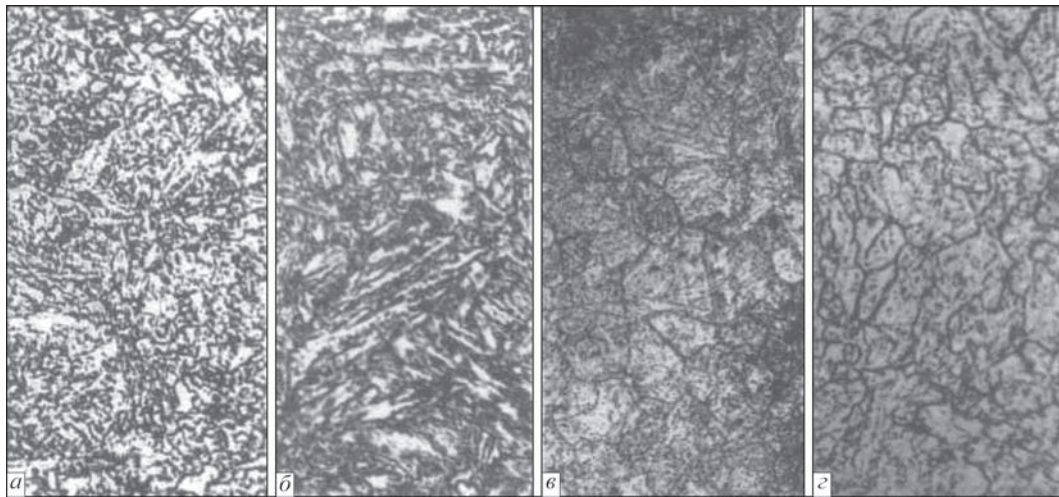


Рис. 4. Микроструктура сварного соединения стали 15X1M1Ф, выполненного СПГ на повышенных режимах ($I_{св} = 200...210$ А): а — металл шва ($\times 500$); б — граница сплавления ($\times 500$); в — зерно в металле ЗТВ на участке перегрева ($\times 100$); з — зерно в металле ЗТВ вдали от участка перегрева ($\times 500$)

неоднородности имеют незначительные размеры и они дискретно расположены вдоль условной линии перехода.

Зерно в участках зернистого бейнита в металле ЗТВ и металле шва мелкое (зерно аустенита $\bar{D}_{усл} = 0,0138...0,0083$ мм, соответствует 9-10 баллу шкалы ГОСТ 5639–82). При этом следует отметить, что при сварке на умеренных режимах (табл., вар. 1) величина зерна в таких участках соответствует 7-8 баллу ($\bar{D}_{усл} = 0,0192$ мм).

Зерно аустенита (рис. 4, в) в участках с игольчатым бейнитом крупнее ($\bar{D}_{усл} = 0,053$ мм), однако находится в пределах допустимых норм и соответствует 9-10 баллу шкалы ГОСТ 5639.

На рис. 5 представлен график изменения ударной вязкости при испытании образцов с острым надрезом (типа Шарпи), на котором сравниваются результаты, полученные при сварке на повышенных режимах, с данными ранее проведенных исследований (см. табл., вар.1, умеренный режим). Как видно из графика, KCV металла ЗТВ сварных соединений, выполненных на повышенных режимах, при испытании в интервале температур $-20^{\circ}...20^{\circ}C$ на $30...50$ Дж/см² ниже (рис. 5, кривые 1, 2).

Тенденция снижения KCV наблюдается и при испытании металла сварного шва (рис. 5, кривые 3, 4). Повышение температуры испытания нивелирует разницу в показателях. Существенной разницы в показателях KCV в верхней, средней и донной частях сварного соединения не выявлено, в том числе и для образцов с поперечной ориентацией зоны сплавления. Тем самым показана достаточная степень однородности металла из различных мест с различной ориентацией зоны сплавления.

Из полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующее заключение. Известно [3], что в ЗТВ при сварке

сталей, содержащих энергичные карбидообразователи (Cr, Mo, V и др), при высоких скоростях нагрева и последующего охлаждения, что характерно для сварочных процессов, гомогенизация аустенита перед началом его превращения не завершена. Не обеспечивается процесс полного растворения карбидов. Указанные факторы понижают устойчивость аустенита. В таких условиях процесс превращения сдвигается в бейнитную область. Важным фактором, влияющим на кинетику процесса гомогенизации, является исходное структурное состояние металла.

Для литой стали 15X1M1Ф, используемой в данном эксперименте, характерна грубая разноразмерная структура (см. рис. 4, в) со значительной дендритной и химической неоднородностью.

Сварка этой стали СПГ без подогрева на умеренных режимах, как нами установлено ранее [2], обеспечивает формирование структуры верхнего

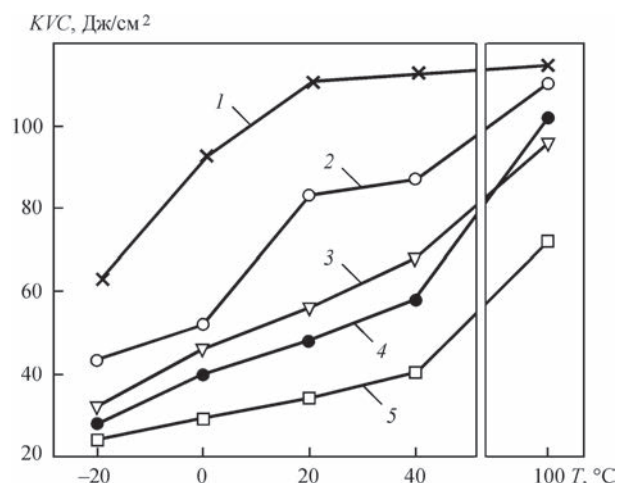


Рис. 5. Ударная вязкость KCV зон сварного соединения стали 15X1M1Ф, выполненного СПГ без подогрева токами: 1 — 160..180 А, ЗТВ (А, В); 2 — 200...210 А, ЗТВ (А, В); 3 — 160...180 А, шов (Б); 4 — 200...210 А, шов (Б); 5 — основной металл (Г) (см. рис. 1)

бейнита, характеризующейся достаточно высокими вязкопластическими свойствами. Повышение режимов сварки (повышение скорости нагрева), цикличность нагрева (при многослойном наложении швов) ставит участки металла ЗТВ в различные временные температурные условия, что приводит к образованию аустенита с различной степенью гомогенности. В результате при охлаждении образуется неоднородная структура. Наряду с зернистым бейнитом формируются участки игольчатого бейнита (рис. 4, б). По-видимому, в выросшем зерне аустенита с более высокой завершенностью гомогенизации процесс превращения сдвинут в интервал более низких температур, а образовавшаяся игольчатая структура является продуктом распада аустенита в области температур «нижний бейнит–мартенсит». При этом отмечается повышение твердости в этой зоне (см. рис. 2).

Таким образом, повышенные режимы при СПГ без подогрева толстостенных литых конструкций из стали 15Х1М1ФЛ отрицательно влияют на сопротивление хрупкому разрушению металла высокотемпературной области ЗТВ. Основной причиной, вероятнее всего, является образование бейнита неоднородной морфологии, где наряду с верхним бейнитом зернистой формы присутствует структура игольчатого строения, идентифицируемая как нижний бейнит. При этом металл указанной зоны имеет повышенную твердость, характерную для бейнито-мартенситных структур.

Выросшее зерно в ЗТВ не является прямой причиной охрупчивания этой области, а оказывает опосредованное влияние. Известно [3], что рост зерна в сталях с энергичными карбидообразователями является признаком повышенной степени гомогенизации аустенита, следовательно, приводит к повышению его устойчивости и, соответственно, сдвигу температуры превращения в мартенситную область.

Выводы

1. При сварке литой стали 15Х1М1ФЛ способом поперечной горки без подогрева на повышенных

режимах в высокотемпературной области ЗТВ образуется бейнит различной морфологии — зернистый и игольчатый. Причиной образования такой структуры является исходный разнотемперный аустенит с различной степенью гомогенизации и устойчивости к превращению.

2. Сварка на повышенных режимах приводит к росту значений твердости в металле ЗТВ, снижению ударной вязкости в интервале температур $-20...20\text{ }^{\circ}\text{C}$, что является признаком повышения склонности к хрупким разрушениям.

1. Назарчук А. Т., Снисарь В. В., Демченко Э. Л. Получение равнопрочных сварных соединений закаливающих сталей без подогрева и термической обработки // Автоматическая сварка. – 2003. – № 5. – С. 41–46.
2. Структура и свойства сварных соединений стали 15Х1М1ФЛ при исправлении дефектов литья способом поперечной горки / Н. Г. Ефименко и др. // Там же. – 2014. – № 3. – С. 44–48.
3. Шоршоров М. Х., Белов В. В. Фазовые превращения и изменение свойств стали при сварке. Атлас. – К: Наука, 1972. – 220 с.

М. Г. Єфіменко¹, С. В. Артемова², С. М. Барташ¹

¹НТУ «Харківський політехнічний інститут».
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21. E-mail: svarka126@ukr.net
²ПАТ «Турбоатом».
61037, м. Харків, Московський просп., 199

ВЛИВ РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, СТРУКТУРУ І СХИЛЬНІСТЬ ДО КРИХКОГО РУЙНУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ СТАЛІ 15Х1М1ФЛ, ВИКОНАНИХ БЕЗ ПІДГРІВУ

Досліджувалась структура і властивості металу високотемпературної області ЗТВ і шва при зварюванні сталі 15Х1М1ФЛ на підвищених режимах способом поперечної гірки без підігріву. При порівнянні отриманих результатів з даними дослідження процесу зварювання на помірних режимах (160...170 А) встановлено, що підвищення струму до 200...210 А призводить до зростання схильності до крихкого руйнування високотемпературної області ЗТВ і металу шва, причиною якого є висока твердість, обумовлена присутністю в структурі бейніта мартенситної складової. Бібліогр. 3, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: сталь, зварювання, підігрів, бейніт, мартенсит, крихкість, властивості, структура

Поступила в редакцію 04.08.2016

Международная конференция «Роботизация и автоматизация сварочных процессов»

12–13 июня 2017 г.

г. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины

Организаторы:

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
Международная Ассоциация «Сварка»

E-mail: journal@paton.kiev.ua
E-mail: patonpublishinghouse@gmail.com
http://pwi-scientists.com/rus/robotweld_2017