

## ПРЕССОВАЯ СВАРКА МАГНИТОУПРАВЛЯЕМОЙ ДУГОЙ ТРУБ ИЗ СТАЛИ X70

Академик НАН Украины С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, В. С. КАЧИНСКИЙ, канд. техн. наук,  
В. Ю. ИГНАТЕНКО, Е. И. ГОНЧАРЕНКО, М. П. КОВАЛЬ, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены материалы исследования свариваемости труб диаметром 168×7 мм из стали X70 для применения в различных по назначению трубопроводах, а также результаты металлографических исследований и механических свойств сварных соединений.

*Ключевые слова:* прессовая сварка, магнитоуправляемая дуга, трубная сталь X70, трубопроводы, формирование соединения, технология сварки

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины на протяжении последних лет проводятся исследования по сварке труб и трубопроводов диаметром до 219 мм и толщиной стенки до 16 мм [1]. Результаты исследований показали возможность практического применения прессовой сварки магнитоуправляемой дугой (ПСМД) для сварки труб и трубопроводов. Процесс ПСМД отличается высокой производительностью (время сварки 20...50 с), минимальным расходом основного металла труб, равным толщине стенки, при этом дополнительные сварочные материалы и расходный газ не требуются.

Целью настоящей работы является исследование свариваемости стали X70 способом ПСМД. Для исследований использовали трубы диаметром 168 мм с толщиной стенки 7 мм. Выбор был связан с потребностями различных отраслей промышленности и строительства в разработке новых высокопроизводительных способов сварки труб и трубопроводов небольшого диаметра. Сталь X70 относится к низкоуглеродистым сталям со следующим химическим составом, мас. %: 0,030 С; 0,156 Si; 1,45 Mn; 0,004 S; 0,004 P; 0,07 Cr; 0,14 Ni; 0,20 Mo; 0,02 V; 0,30 Cu; 0,033 Al; 0,022 Ti; 0,062 Nb; 0,012 As.

Особенности формирования соединений при ПСМД, а также основные параметры, определяющие качество соединений, рассмотрены в работах [1, 2]. Основные технологические параметры сварки труб диаметром 168×7 мм из стали X70 следующие (рис. 1): время сварки 34,7 с; усилие осадки 247 кН; укорочение труб 7,5...7,9 мм; потребляемая мощность 28,7 кВт.

С целью проведения механических испытаний из сварного соединения трубы вырезали секции.

Формирование сварного соединения с внешней и внутренней сторон трубы приведено на рис. 2.

Результаты механических испытаний показали, что прочностные и пластические свойства сварного соединения находятся на уровне показателей основного металла (табл. 1, рис. 3).

Структура металла в ЗТВ при ПСМД во многом подобна структуре аналогичных соединений

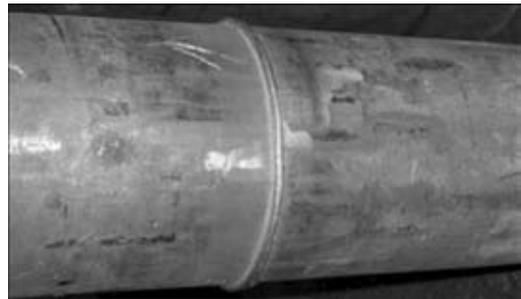


Рис. 1. Сварное соединение труб диаметром 168×7 мм из стали X70

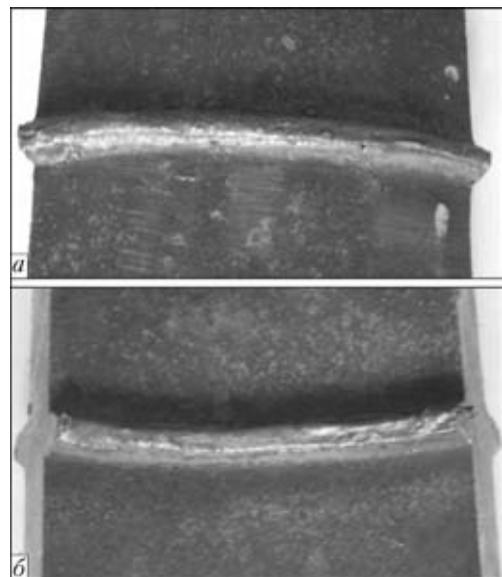


Рис. 2. Формирование сварного соединения с внешней (а) и внутренней (б) сторон труб



Т а б л и ц а 1. Механические свойства основного металла и сварного соединения труб из стали X70

Участок испытания	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$KCV_{+20^\circ C}$ , Дж/см <sup>2</sup>
Основной металл	448,9...469,1	528,8...566,8	248,4...265,7
	460,6	551,0	256,5
Сварное соединение	411...440	511...556	124,8...283,4
	425,5	533,5	204,1

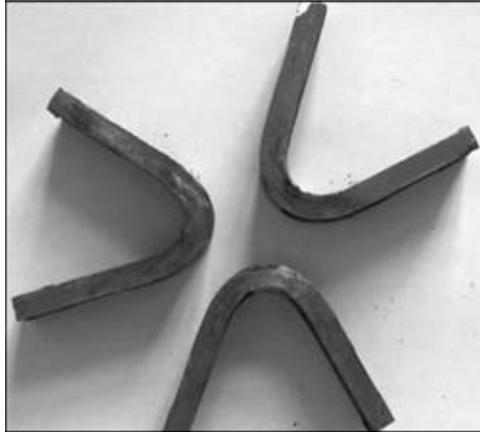


Рис. 3. Результаты испытаний сварного соединения на изгиб

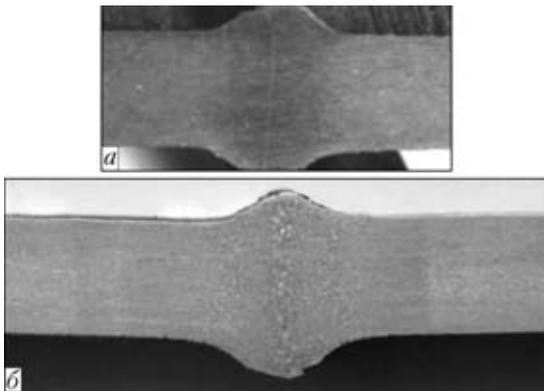


Рис. 4. Макрошлифы сварных соединений стали X70, выполненных ПСМД (а) и КССО (б)

труб, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением (КССО), но в формировании центральной части соединения есть отличия. Анализ макроструктуры соединений труб диаметром 168X7 мм из стали X70 (рис. 4, а) показал, что

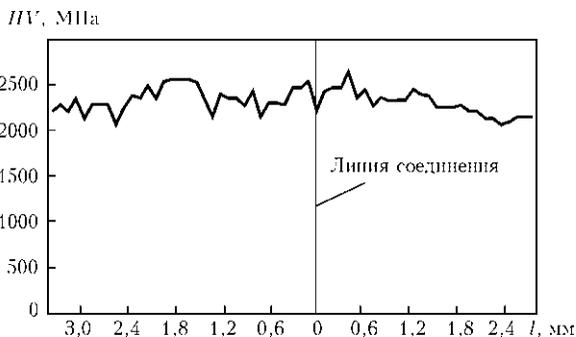


Рис. 5. Распределение микротвердости металла в зоне сварного соединения

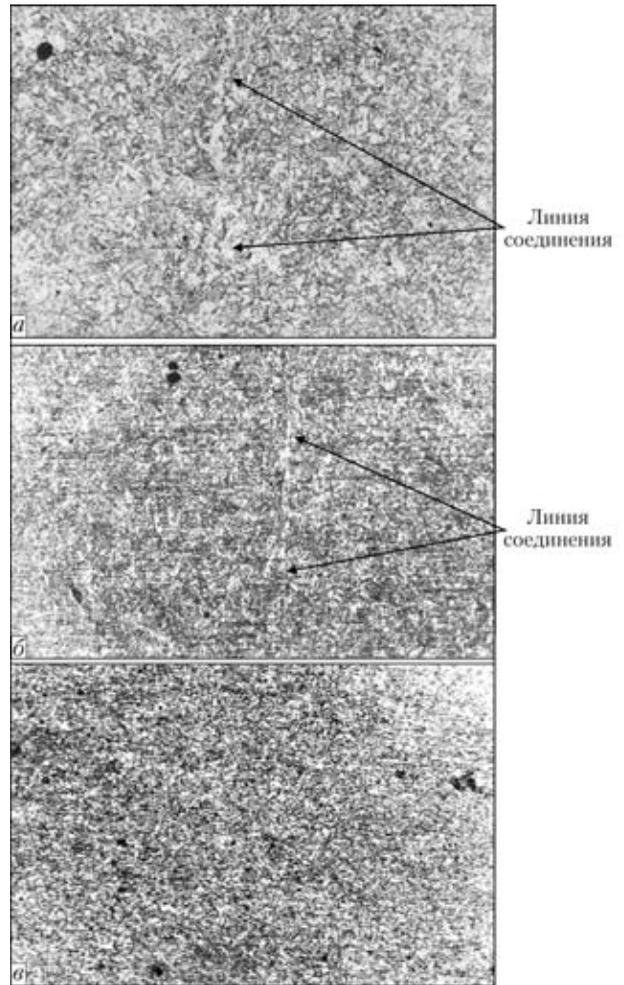


Рис. 6. Микроструктуры (X150) сварного соединения вблизи внешней кромки (а), в центральной области (б) и основного металла (в)

ширина ЗТВ при ПСМД не более 10 мм, а ширина участка нормализации по средней линии 2 мм. При КССО ширина ЗТВ и участка нормализации соответственно 18 и 6 мм (рис. 4, б). Таким образом, при ПСМД ЗТВ существенно уже, чем при КССО, что обеспечивает формирование более мелкозернистой структуры.

Область сварного соединения стали X70 подвергли металлографическим исследованиям. Микротвердость сварного соединения измеряли на приборе М-400 фирмы «LECO» при нагрузке 1 Н и с шагом 100 мкм. Образец травили в 4%-м растворе HNO<sub>3</sub> в спирте.

Из рис. 5 видно, что в соединении имеет место незначительное повышение микротвердости ферритной полоски до HV 2450 МПа, что выше микротвердости основного металла труб. При КССО обычно наблюдается снижение микротвердости на этом участке.

Линия соединения представляет собой прерывистую белую полосу толщиной до 10 мкм в центральной области сварного соединения и расширяется до 30 мкм к краям образца шлифа (рис. 6, а). Микротвердость ферритной полоски линии со-

Таблица 2. Технические характеристики установок для ПСМД

Тип установки	Диаметр свариваемых труб, мм	Толщина стенки, мм	Производительность, стыков/ч	Потребляемая мощность, кВт·А	Масса, кг
К-980	50...140	3...10	80	80	3500
К-872	89...219	2,5...8	60	90	2500
К-981	120...250	3...10	50	160	4500

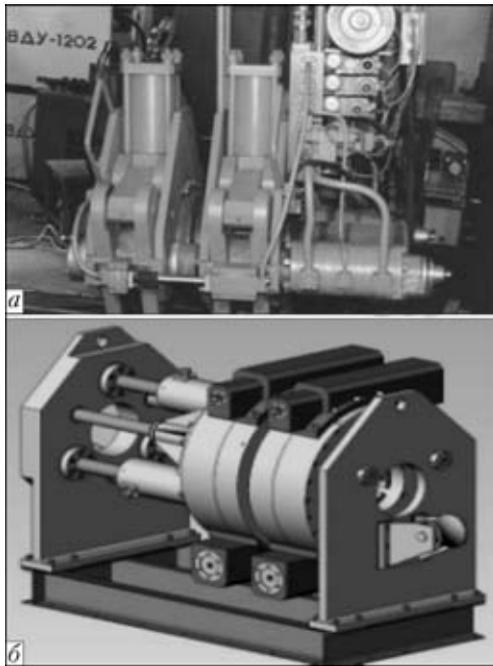


Рис. 7. Внешний вид установок К-872 (а) и К-981 (б)

единения  $HV$  2050...2450 МПа. Структура участка в центральной области образца мелкозернистая (8-9 балл по ГОСТ 5639–82) ферритно-перлитная с микротвердостью  $HV$  2470...2640 МПа (рис. 6, б). У края образца структура более крупнозернистая (7 балл) с преобладанием ферритной составляющей и микротвердостью  $HV$  2190...2350 МПа (рис. 6, а). На участке мелкого зерна структура мелкозернистая ферритно-перлитная с баллом 10-11 и микротвердостью  $HV$  2270...2400 МПа.

Основной металл мелкозернистый с преобладанием ферритной составляющей (балл зерна 10) и микротвердостью  $HV$  2130...2360 МПа (рис. 6, в).

На участке крупного зерна повышается количество перлитной составляющей в сравнении с основным металлом и другими участками ЗТВ, что приводит к незначительному повышению

твердости на этом участке. Дефектов в сварном соединении не обнаружено.

Проведенные исследования показывают, что структура и механические свойства соединений трубных сталей X70, выполненных ПСМД, весьма близки к аналогичным показателям соединений КССО. Поэтому принятые при КССО системы и методики неразрушающего, а также операционного контроля могут быть идентичными.

Для ПСМД труб и трубопроводов разработаны машины, обеспечивающие сварку в полевых и стационарных условиях (табл. 2).

Установки К-980, К-872, К-981 (рис. 7), предназначенные для прессовой сварки труб и трубопроводов различного назначения, состоят из сварочной головки; гидравлической насосной станции; шкафа управления с переносным пультом управления; источника питания дуги.

Подвесная головка К-872 является установкой клещевого типа, отличительной особенностью которой является отдельное зажатие свариваемых труб. Машина конструктивно имеет возможность загрузки-выгрузки свариваемых труб на сторону [3].

Установки К980 и К-981 — проходного типа, отличительной особенностью которых также является отдельное зажатие свариваемых труб. Конструкция машины проходного типа обеспечивает высокую точность осевой центровки сваренных труб и трубопроводов [4].

## Выводы

1. Определены основные условия прессовой сварки для формирования сварного соединения из стали X70.
2. Разработана технология сварки труб диаметром 168×7 мм из стали X70.
3. Разработано сварочное оборудование и технология прессовой сварки труб диаметром до 250 мм и толщиной стенки до 12 мм.

1. Кучук-Яценко С. И., Качинский В. С., Игнатенко В. Ю. Прессовая сварка толстостенных труб с нагревом дугой, управляемой магнитным полем // Автомат. сварка. — 2002. — № 7. — С. 28–34.
2. *Magnetically impelled arc butt welding of town gas pipelines* / K. Fakagi, F. Aracida, S. Sato et al. // Metal Construction. — 1982. — № 10. — P. 542–548.
3. Пат. 45449 Україна. Машина для пресоного зварювання з нагріванням дугою, керованою магнітним полем / С. І. Кучук-Яценко, В. С. Качинський, В. О. Сахарнов та ін. — Чинний з 15.04.2002 р.
4. Пат. 200713302 Україна. Машина для стикового зварювання труб / С. І. Кучук-Яценко, В. С. Качинський, В. О. Галян та ін. — Чинний з 29.11.2007 р.

The paper gives the materials of investigation of weldability of pipes of 168×7 mm from X70 steel for application in pipelines for various purposes, as well as the results of metallographic and mechanical property investigations of welded joints.

Поступила в редакцию 23.02.2010