

**Применение вибрационной обработки в процессе сварки
для повышения качества разнородных сварных соединений
трубопроводов**

Хафизова О.Ф.

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Ремонт участков магистральных нефтегазопроводов в ряде случаев приводит к необходимости их замены на новые участки из сталей, отличающихся по химическому составу и механическим свойствам от основного материала трубопровода. Получаемые при этом разнородные сварные соединения отличаются повышенным уровнем остаточных напряжений и пониженной сопротивляемостью к воздействию различных факторов, способствующих разрушению. Это приводит к снижению долговечности трубопроводов как одного из основных показателей их надёжности. Качество соединений разнородных сталей зависит от степени различия их состава и механических свойств [1,2].

Для повышения остаточного ресурса нефтегазопроводов с соединениями разнородных сталей, в настоящее время используют послесварочную термическую обработку. [3]. Так, при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов в случае сварки элементов трубопроводов из разнородных сталей, существенно отличающихся по прочностным свойствам (с разнородностью по классу прочности $\Delta K \geq 80$ МПа), рекомендуется [4] проводить высокий отпуск, заключающийся в нагреве сварного соединения до температуры 575-600°C, выдержке в течение часа и последующем охлаждении. Понятно, что такая термическая обработка является сложным и энергоёмким процессом, трудно осуществимым в полевых условиях.

Альтернативным методом уменьшения негативного влияния сварочных процессов является вибрационная обработка свариваемых элементов, проводимая в процессе сварки. При этом, как показано, например, в [5], наибольшая эффективность виброобработки достигается при частотах вибрации, вызывающих резонансные колебания системы. В то же время в литературе не обнаружено сведений о применении вибрационной обработки для повышения качества сварных соединений из разнородных сталей.

В данной работе на примере сварки сталей СтЗсп (класс прочности К38) и 10Г2ФБ (класс прочности К60) рассматривается возможность улучшения механических свойств разнородных сварных соединений путем их вибрации в процессе сварки с заданной частотой (рис.1).

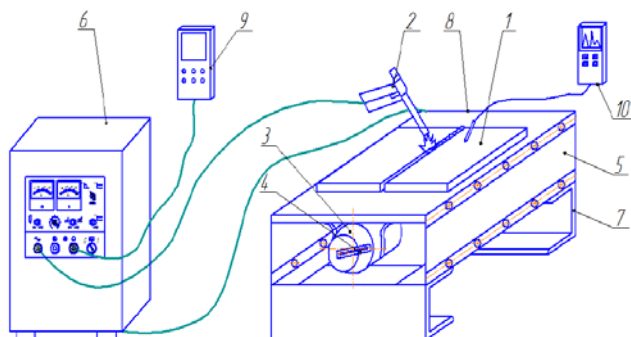


Рис. 1. Схема экспериментального стенда по изучению влияния вибрационной обработки различной частоты на качество сварных соединений из трубопроводных сталей: 1–свариваемые листовые заготовки; 2–электрододержатель; 3–электродвигатель; 4 –дебаланс; 5–сменные стальные пластины; 6–выпрямитель сварочный; 7–основание; 8–крышка сварочного стола; 9–преобразователь частоты; 10–датчик вибрации AMTest-2

Свариваемые листовые заготовки *1* из выбранных материалов жестко крепились к крышке стола *8* и подвергались во время сварки вынужденным колебаниям относительно неподвижного массивного основания *7*. К крышке стола устанавливался асинхронный электрический двигатель переменного тока *3*, на валу которого находился дебаланс *4*, который являлся источником колебаний. Перемещением центра массы дебаланса изменялась амплитуда a задаваемых колебаний ($a_{\max} = 62$ мкм). Частота вынужденных колебаний f системы (свариваемых заготовок, крышки стола и электродвигателя) совпадала с частотой ω вращения вала двигателя, которая, в свою очередь, регулировалась с помощью преобразователя частоты *9*. Значение f регистрировалось датчиком вибрации AMTest-2 *10*. Частота собственных колебаний f_c системы регулировалась изменением ее жесткости k , что достигалось варьированием количества N пластин *5*, соединяющих крышку стола с основанием.

Поскольку, как было найдено в [5], вибрация сварных соединений наиболее эффективна в условиях резонанса, выбранные частоты виброобработки пластин сопоставляли с расчетной величиной первой собственной частоты колебаний системы. При количестве пластин, равным $N=2$, и частоте вращения вала двигателя $\omega=3000$ об/мин, частота вынужденных колебаний системы была равной 50 Гц, близкой к частоте собственных колебаний системы ($f_c = 8,3$ Гц) и участка трубопровода диаметром 820 мм и длиной $l = 10$ м ($f_n = 53$ Гц).

Полученные пластины с разнородными сварными соединениями разрезали на соответствующие образцы [7] для физико-механических испытаний. Анализировали влияние виброобработки с той или иной частотой на прочностные характеристики (σ_{02} , σ_B), твердость (HV), ударную вязкость (KCV) и микроструктуру металла шва и околшовной зоны обеих сталей сварного соединения.

Результаты испытаний на ударный изгиб [9] при температуре минус 20 °С показали, что применение вибрационной обработки повышает ударную вязкость как металла сварного шва, так и зоны термического влияния обеих сталей. Причем наибольший рост KCV металла сварного шва (до 105 %) достигается при частоте вибрационной обработки 50 Гц.

Аналогичным образом виброобработка влияет и на твердость различных зон сварного соединения. При этом если для ЗТВ менее прочного материала (СтЗсп) она мало влияет на HV, то для зоны термического влияния более прочного материала (10Г2ФБ) и сварного шва величина HV с применением виброобработки существенно возрастает.

Результаты микроструктурного анализа материала в средней части сечения сварного шва показали, что применение виброобработки способствует повышению дисперсности структуры шва и измельчению зерна.

При испытаниях образцов на растяжение повысились значения условного предела текучести (σ_{02}) на 20-25% в образцах, сваренных с сопутствующей виброобработкой при практически неизменной величине предела прочности (σ_B) металла сварного шва.

Результаты испытаний на усталостную выносливость (табл. 1) показали, что вибрационная обработка сварных соединений, проведенная с частотой, близкой к частоте собственных колебаний си-

стемы, до 4-х раз повышает число циклов нагружений, которое может выдержать соединение до разрушения.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов из сварных соединений сталей СтЗсп - 10Г2ФБ на усталостную выносливость

Режим обработки	Количество циклов до разрушения N		
	1	2	3
Без обработки	$0,328096 \cdot 10^6$	$0,257369 \cdot 10^6$	-
С термической обработкой	$1,075 \cdot 10^6$	$\geq 1 \cdot 10^6$	$\geq 1 \cdot 10^6$
С вибрационной обработкой	$\geq 1 \cdot 10^6$	$\geq (1 \div 7) \cdot 10^6$	$\geq 1 \cdot 10^6$

Исходя из результатов проведенных экспериментов по сварке разнородных сталей СтЗсп и 10Г2ФБ с сопутствующей вибрационной обработкой, можно сделать вывод о том, что применение вибрационной обработки в процессе сварки благоприятно влияет на механические свойства сварного соединения, повышая его ударную вязкость в металле сварного шва до 105 % при частоте вибрации 50 Гц, твердость - на 13 %, повышает усталостную выносливость до 4-х раз, приводит к увеличению условного предела текучести и улучшению микроструктуры металла сварного шва и зон термического влияния.

Литература

1. Земзин В.Н. Сварные соединения разнородных сталей. М: Машиностроение, 1966. - 232 с.
2. Закс И.А. Сварка разнородных сталей. Справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1973. - 208 с.
3. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. М: - Машиностроение. 1973. - 213 с.
4. СТО Газпром 2-2.2-136-2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. Часть I.
5. Полнов В.Г., Сагалевиц В.М., Могильнер М.Н. Влияние собственных колебаний сварных конструкций на устранение в них остаточных напряжений вибрацией // Сварочное производство. -1988. - №4 - С.37-39.
6. Мельников Б.Е., Павлов П.А., Паршин Л.К. Сопrotивление материалов. С-Пб.: Лань, 2007. - 560 с.
7. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
8. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение.
9. ГОСТ 9454-78 Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенных температурах.