УДК 621.643.053: 621.791

О.Ф.ХАФИЗОВА, *аспирантка*, *khafizova2005@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

O.F.KHAFIZOVA, *post-graduate student, khafizova2005@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ КОНСТРУКЦИЙ ВО ВРЕМЯ СВАРКИ

Показана принципиальная возможность повышения физико-механических свойств сварных соединений из трубопроводных сталей разного класса прочности (сталей 20 класса прочности К42 и 16ГС – К52) путем вибрации сварного соединения в процессе сварки. Подтверждено, что наибольший положительный эффект достигается при частоте вибрации приближающейся к собственной частоте колебаний свариваемой конструкции.

Ключевые слова: сварной шов, вибрационная обработка, механические свойства, микроструктура, термическая обработка, сварка трубопровода, разнородные сварные соединения.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF DISSIMILAR WELDED JOINTS MADE OF PIPELINES STEELS BY APPLICATION OF VIBROMECHANICAL TREATMENT IN WELDING

The article describes opportunity of improvement of physical-mechanical properties of welded joint made of different strength grade pipeline steels (Steel 20 of K42 strength grade and 16ГС – K52) by applying vibration during the welding cycle. It's shown that maximal positive effect is achieved by vibration frequency approximating to natural-vibration frequency of welded construction.

Key words: weld seam, vibromechanical treatment, mechanical properties, microstructure, thermal treatment, pipeline welding, dissimilar welded joint.

При ремонте нефтегазопроводов в ряде случаев возникает необходимость замены участка трубы из ранее использованного материала – это, как правило, низкоуглеродистая сталь, на другой – из легированной стали, с изготовлением сварного соединения из материалов, существенно различающихся по составу и физико-механическим свойствам. При этом резко возрастает негативное влияние сварочных процессов на качество сварного соединения, проявляющееся тем сильнее, чем в большей степени свариваемые стали отличаются друг от друга.

Для устранения негативного влияния процесса сварки на механические свойства разнородных сварных соединений используют, как правило, термическую обработку, трудно осуществимую в полевых условиях ремонта трубопроводов.

Альтернативным методом уменьшения негативного влияния сварочных процессов является вибрационная обработка свариваемых элементов в процессе сварки, уже нашедшая применение при изготовлении однородных сварных соединений. При этом наибольшая эффективность достига-

ется при частотах вибрации, вызывающих резонансные колебания системы.

В данной работе на примере сварки сталей 20 (класс прочности К42) и 16ГС (К52), как представителей старого и нового поколения трубопроводных материалов, рассматривается возможность улучшения качества разнородных сварных соединений путем их вибрации в процессе сварки с заданной частотой.

Объектом виброобработки являлись свариваемые пластины 500х120х10 мм из указанных сталей, жестко закрепленные на крышке сварочного стола с ножками из стального швеллера, вмонтированными в основание. Пластины после V-образной разделки кромок сваривались в 3 прохода встык ручной электродуговой сваркой на постоянном токе обратной полярности электродами со сварочной проволокой – Св-08.

В качестве источника вибрации было использовано пневматическое вибрационное шаровое устройство ВШ-10, работающее от компрессора, способное вызывать колебания в интервале частот от 50 до 200 Гц. Частота виброперемещений системы ν и амплитуда перемещений a в направлении, перпендикулярном оси сварного шва измерялись с помощью виброанализатора спектра CSI VA1900.

Сварка пластин в экспериментах осуществлялась с вибрационной обработкой на частотах 50, 100 и 170 Гц (a = 8,8, 0,3 и 0,6 мкм соответственно) и для сравнения без виброобработки.

Использованные частоты виброобработки сопоставляли с расчетной величиной первой собственной частоты колебаний ν^* системы.

Для определения ν^* рассчитывали жесткость системы. Задачу решали аналитически и численно. В обоих случаях сварной стол с закрепленными на нем свариваемыми пластинами рассматривали как раму, состоящую из балок Бернулли-Эйлера, нагруженную сосредоточенной единичной силой. Численное решение проводили в системе конечно-элементного анализа ANSYS. Полученные двумя способами значения жесткости совпали: f = 2,95 МН/м. С учетом суммарной массы стола и пластин (m_Σ = 152 кг) значение первой собственной частоты колебаний системы

$$\nu^* = (f/m_\Sigma)^{0,5}/2\pi = 22\,\text{Гц}.$$

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 околошовной зоны обеих сталей сварного соединения. Для этой цели полученные сварные пластины разрезали в поперечном направлении относительно сварного шва на полосы, из которых изготавливали по три образца на каждый вид испытаний.

Прочностные характеристики определяли при статическом растяжении плоских образцов до разрыва на универсальной испытательной машине Zwick//Roell Z100 усилием 100 кН. Испытания на ударный изгиб проводили при температуре минус 20 °С на образцах 5 видов, отличающихся местом нанесения V-образного надреза (местом удара): по оси сварного шва, а так же на расстоянии 11 мм (в зоне термического влияния) и 24 мм (вне зоны сварки) с обеих его сторон. Микротвердость и микроструктуру различных зон сварного соединения анализировали с использованием универсального твердомера Zwick/Roel ZHU и микроскопа Zeiss Observer.

Было установлено (рис.1), что применение вибрационной обработки повышает ударную вязкость, как металла сварного шва, так и зоны термического влияния обеих сталей. Причем наибольший эффект (рост KCV металла сварного шва до 105 %) достигается при частоте вибрационной обработки 50 Гц, наиболее приближающейся к частоте собственных колебаний системы ($\nu^* \sim 22$ Гц). Как следует из сравнения значений KCV различных зон сварного соединения, ударная вязкость материала в зоне термического влияния более прочной стали (16ГС) для всех режимов обработки превышает величину KCV обеих сталей вне зоны сварки.

Аналогичным образом виброобработка влияет и на твердость различных зон сварного соединения (рис. 1). При этом если для ЗТВ менее прочного материала (стали 20) она мало влияет на HV, то для зоны терми

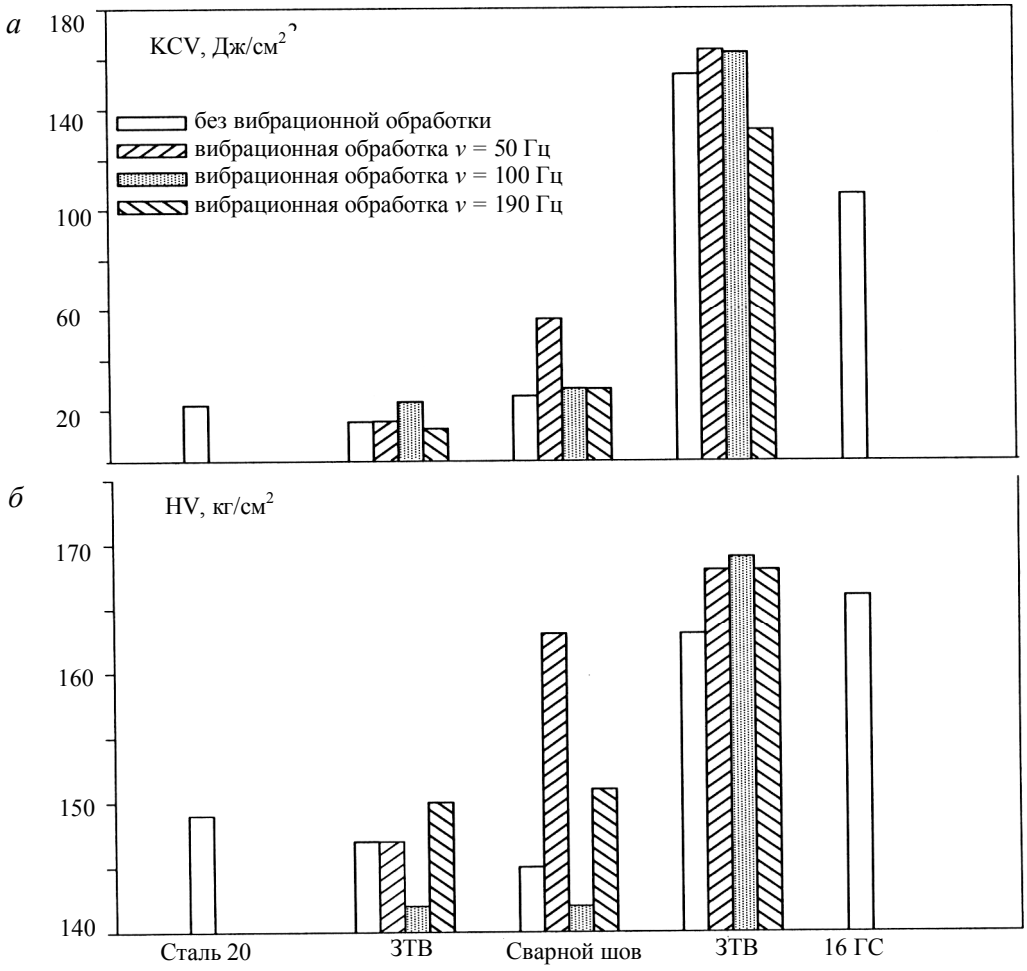


Рис.1. Зависимости ударной вязкости KCV (*а*) и твердости HV металла (*б*) шва и зон термического влияния разнородного сварного соединения от вида обработки

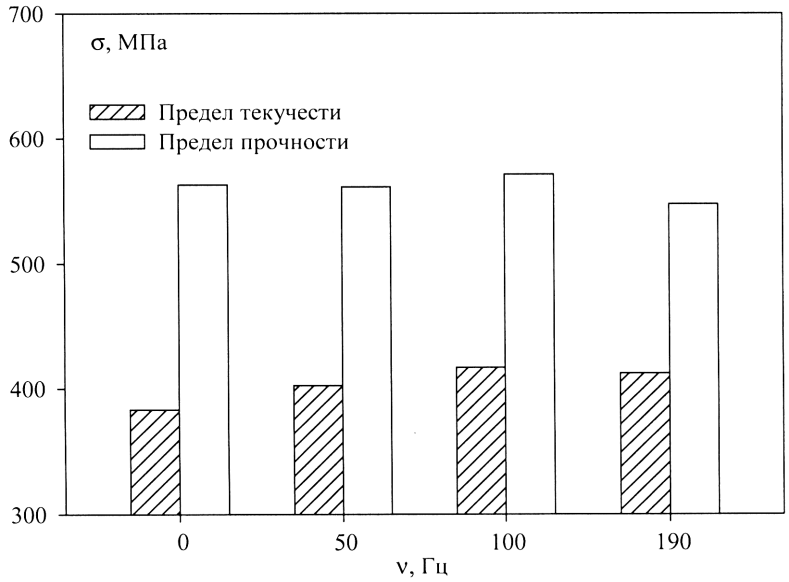


Рис.2. Прочностные характеристики ($\sigma_{0,2}$, σ_B) металла сварного шва в зависимости от частоты виброобработки

ческого влияния более прочного материала (16ГС) и сварного шва величина HV с применением виброобработки существенно возрастает.

Как было установлено при проведении микроскопического анализа, при наличии в сварном шве феррито-перлитной структуры применение виброобработки более низкой частоты (50 и 100 Гц) способствует измельчению зерна (с 11,3 до 9,5 мкм). На частоте 170 Гц структура практически не отличается от исходной (без виброобработки).

Результаты испытаний образцов на растяжение (рис.2) показали, что применение виброобработки приводит к увеличению условного предела текучести (σ_{02}) при практически неизменной величине предела прочности (σ_B) металла сварного шва.

Как следует из результатов экспериментов, применение виброобработки в процессе сварки положительно влияет на физико-механические свойства материалов в различных зонах сварного соединения из разнородных сталей, увеличивая их ударную вязкость и предел текучести. Причем наибольший эффект достигается при частоте виброобработки (~ 50 Гц) из приведенного перечня 50, 100, 150 Гц, наиболее близкой к частоте собственных колебаний системы, что можно объяснить максимальной амплитудой колебаний, возникающей при этой частоте и, как следствие, максимальными дополнительными напряжениями в металле. Другой причиной улучшения механических свойств материала сварного шва является измельчение зерен металла, образующихся в процессе кристаллизации, под действием колебаний. При этом изменение предела текучести материала находится в соответствии с законом Холла-Петча.

Согласно результатам проведенных экспериментов по сварке разнородных сталей 20 и 16ГС с сопутствующей вибрационной обработкой, применение вибрационной обработки в процессе сварки благоприятно влияет на качество сварного соединения, повышая его ударную вязкость и прочностные свойства.