

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ
В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ
И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ИЗ СТАЛИ 11Х11Н2В2МФ**

Салмин А.Н., Файрушин А.М., Ибрагимов И.Г.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
email: salmin.andrey@gmail.com*

В статье рассмотрена возможность применения вибрационных колебаний, прикладываемых к изделию из стали 11Х11Н2В2МФ во время сварки, для повышения технологической прочности и их влияние на механические свойства до и после термической обработки.

На примере изготовления корпуса опоры турбины газотурбинного привода приведена необходимость замены части операций термообработки на другие более энергоэффективные и менее трудозатратные операции. Рассмотрена необходимость проведенных исследований на склонность к образованию холодных трещин, прочность, твердость и ударную вязкость.

На основе полученных результатов построены диаграммы средних значений параметров и приведены выводы.

Ключевые слова: термообработка, мартенситная сталь, сварные конструкции, газотурбинный привод, холодные трещины, вибрационная обработка

На сегодняшний день с помощью сварки изготавливается большая часть всех конструкций, применяемых в нефтегазовой отрасли. Это объясняется невозможностью или высокой стоимостью получения этих конструкций при помощи других технологических процессов.

Силовые установки на базе газотурбинных двигателей в последнее время получают всё более широкое распространение при транспортировке газа, что обусловлено возможностью их эксплуатации на природном газе, а также малой массой и габаритами, легкостью запуска, лучшей приемистостью, менее вредными условиями эксплуатации, значительно большим ресурсом.[1]

Для изготовления корпуса опоры турбины широко используемых сейчас газотурбинных приводов (ГТП) на базе двигателя АЛ-31СТ применяется процесс сварки листовых заготовок из высоколегированной жаропрочной стали мартенситного класса 11Х11Н2В2МФ толщиной 3 мм. После этой операции в сварных соединениях корпуса существует высокая вероятность образования холодных трещин (ХТ). Для её снижения корпус надо подвергать термообработке в течение 4-6

часов после сварки каждого кольцевого шва. Это приводит к необходимости проведения термической обработки в процессе изготовления 11 раз. А в случае приварки стоек, которая длится в течение 2 смен, она и вовсе оказывается невозможной без прерывания технологической операции сварки. Кроме того, отжиг, применяемый для данной стали, занимает порядка 3-4 часов с учётом последующего охлаждения.

Существует также ряд других способов, позволяющих снизить уровень остаточных напряжений, однако их применение для данной конструкции и материала в силу различных причин также оказывается невозможным.

В свою очередь вибрационная обработка является достаточно известным способом устранения причин ХТ: регулирования структуры металла сварных соединений, снижения концентрации диффузионного водорода в шве и уменьшения уровня сварочных напряжений, однако её применение непосредственно для снижения вероятности появления ХТ в стали 11X11H2B2MФ до сих пор не было рассмотрено. Кроме того, в существующей теории есть ряд пробелов, которые не позволяют начать её использование без проведения соответствующих экспериментов [2, 3, 4, 5].

Несмотря на наличие множества публикаций по теме вибрационной обработки, которые показывают, что устранение причин возникновения ХТ в принципе возможно, результаты технологических испытаний на склонность к образованию ХТ для стыковых соединений деталей из стали 11X11H2B2MФ, применяемых при изготовлении корпуса не встречаются в литературных источниках. Поэтому они были проведены в данной работе.

Технологические испытания на склонность к образованию ХТ проводили по ГОСТ 26388-84 «Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением» на специальном водоохлаждаемом приспособлении (рис. 1) [6]. Для проведения испытаний была выбрана вибрационная обработка всего приспособления с круговой амплитудой в горизонтальной плоскости величиной ≈ 1 мм с частотой $\approx 47,5$ Гц и сварка без вибрационной обработки.

Сварку производили в 6 этапов. Сначала сваривали 3 образца с круговым вварышем диаметром 80 мм без вибрационной обработки. Так как в течение 20

часов после сварки трещины образовались лишь в одном из образцов, то на следующем этапе были сварены ещё 3 образца с вварышами 60 мм. На всех образцах образовывались трещины, которые после вырезки участка сварного соединения и последующего долома были классифицированы как холодные. Затем сваривали ещё 3 образца с вварышем диаметром 50 мм. На всех также появлялись ХТ. Технологию сварки с вибрационной обработкой испытывали на 3 образцах каждого типа с вварышами диаметрами 50, 60, 80 мм. Лишь на 1 образце диаметром 50 мм были обнаружены ХТ. Показатели склонности и результаты технологических испытаний приведены в табл. 1.



Рисунок 1. Приспособление для технологических испытаний на склонность к образованию ХТ

Таблица 1

Показатели склонности к образованию холодных трещин (ХТ)

Вид технологического процесса	Образцы с диаметром вварыша 80мм	Образцы с диаметром вварыша 60мм	Образцы с диаметром вварыша 50мм	Показатель склонности к образованию ХТ
Сварка без вибрационной обработкой	ХТ в 1 из 3 образцов	ХТ во всех образцах	ХТ во всех образцах	60 мм
Сварка с вибрационной обработкой	ХТ не обнаружены	ХТ не обнаружены	ХТ в 1 из 3 образцов	Не склонна

Таким образом при замене операции аргодуговой сварки на операцию аргодуговой сварки с виброобработкой была повышена технологическая прочность. Однако использование данной конструкции при высоких температурах и наличие эффекта подкалки околошовной зоны также требовало проведения термической обработки. Поэтому было проведено сравнение механических свойств термообработанных образцов, сваренных с использованием и без использования виброобработки, а также сравнение механических свойств нетермообработанных образцов. Ряд образцов, подвергнутых механическим испытаниям, выглядит следующим образом – табл. 2.

Таблица 2

Виды образцов, подвергнутых механическим испытаниям

Тип образцов	Тип виброобработки	Вид последующей термообработки
1	отсутствует	-
2	отсутствует	Отжиг 760-780 °С
3	круговыми колебаниями в горизонтальной плоскости с частотой $\approx 47,5$ Гц	-
4	круговыми колебаниями в горизонтальной плоскости с частотой $\approx 47,5$ Гц	Отжиг 760-780 °С

Для определения механических свойств были проведены испытания по определению прочности, твердости и ударной вязкости образцов различных участков сварных соединений типов, указанных в табл. 2.

Испытания по определению прочности проводились по ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств» [7] при поддержке лаборатории «Механика деформирования и разрушения конструкционных материалов» Межвузовского центра коллективного пользования «Недра» Уфимского государственного нефтяного технического университета. При испытаниях по определению прочности наиболее слабого участка сварного соединения разрушение во всех типах образцов происходило по зоне термического влияния.

Средние значения прочности наиболее слабого участка сварного соединения приведены на рис. 2.

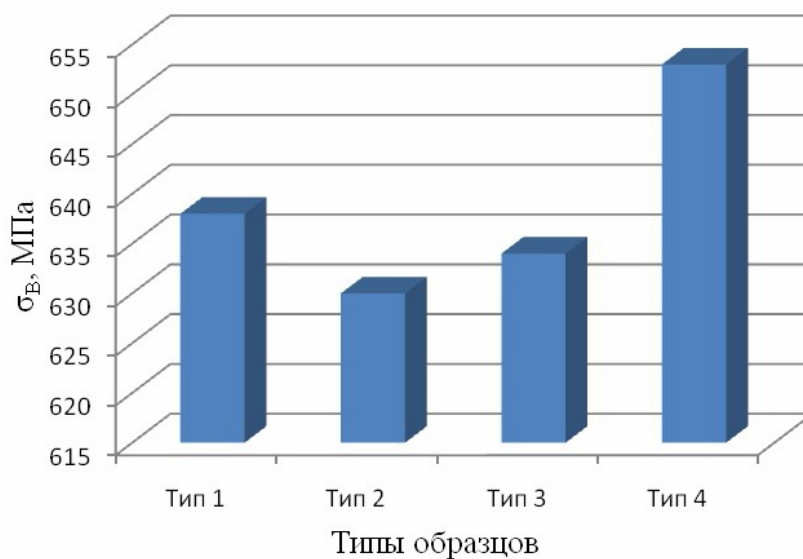


Рисунок 2. Средние значения предела прочности наиболее слабого участка сварного соединения

Результаты испытаний на прочность металла шва приведены на рис. 3.

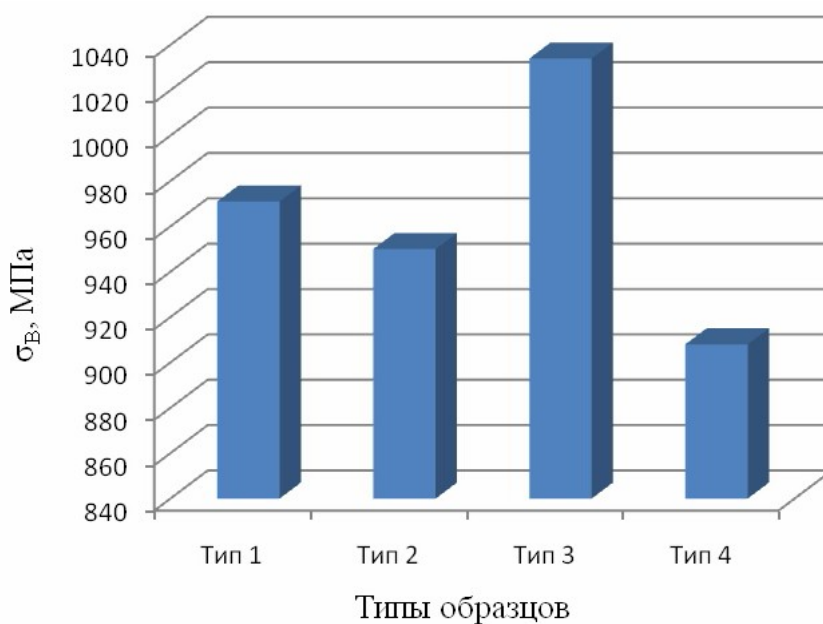


Рисунок 3. Средние значения предела прочности металла шва

Испытания по определению ударной вязкости были проведены по ГОСТ 6996-66 на образцах с V-образным надрезом в шве и околошовной зоне. Они проводились при температуре 20 °С при помощи маятникового копра ИО-5003-0,3-11. Средние значения ударной вязкости для различных участков сварных соединений образцов приведены на рис. 4.

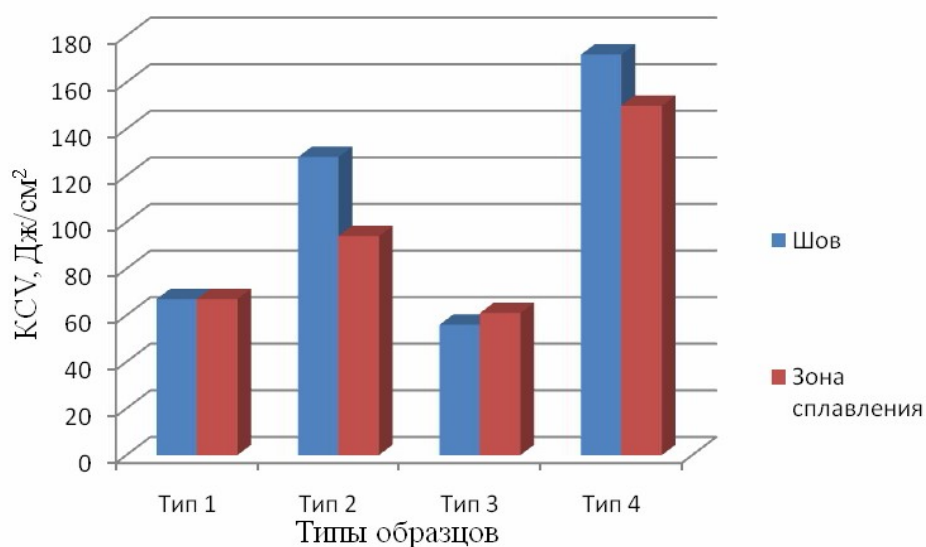


Рисунок 4. Средние значения ударной вязкости образцов

Несмотря на то, что значения прочности зоны термического влияния образцов имеют практически одинаковые значения, а различия в значениях прочности металла шва обусловлены главным образом применением термической обработки, при испытаниях на ударный изгиб было обнаружено увеличение ударной вязкости в шве и зоне сплавления примерно на 35 % и на 58 % соответственно в термообработанных образцах, сваренных с вибрационной обработкой, по сравнению с образцами, сваренными без неё.

Определение твердости производили при помощи микротвердомера ПМТ-3М алмазным наконечником с трехгранной пирамиды Берковича для измерения микротвердости твердых тел методом Виккерса. Для вдавливания использовался груз массой 50 гр. Испытания проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» [8]. Твердость замеряли от центра шва в сторону основного металла с интервалом 0,15 мм для выявления различных прослоек. Результаты показаны на рис. 5.

Несмотря на то, что непосредственно после сварки происходит повышение твердости в образцах типа 3, после термической обработки происходит её снижение и выравнивание в околошовной зоне.

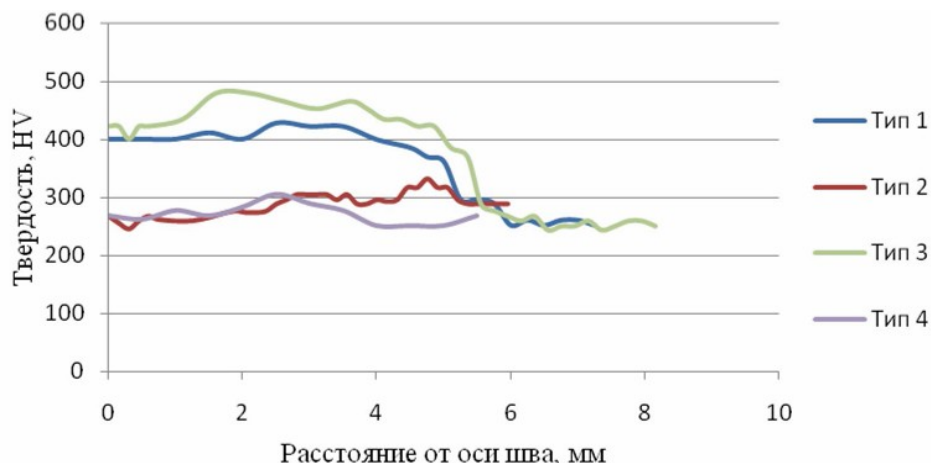


Рисунок 5. Средние значения твердости сварных соединений образцов

Выводы

1. Экспериментально установлено, что при применении сопутствующей вибрационной обработки при сварке стали 11X11H2B2MФ происходит повышение технологической прочности сварного соединения.

2. По результатам комплекса проведенных исследований можно говорить о повышении ударной вязкости термообработанных образцов, сваренных с вибрационной обработкой, по сравнению с образцами, сваренными без неё в сварном шве и зоне сплавления примерно на 35 и 58 % соответственно без негативных последствий для других механических свойств сварного соединения.

Литература

1. Авиационные ГТД в наземных установках / под ред. В.В. Шашкина. – Л.: Машиностроение, 1984. – 228 с.
2. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
3. Дрыга А.И. Вибрационная обработка сварного корпуса концевой части турбогенератора для снижения остаточных напряжений // Автоматическая сварка. – 1990. – № 6. – С.10-11.

4. Сутырин Г.В. Исследование механизма воздействия низкочастотной вибрации на кристаллизацию сварочной ванны // Автоматическая сварка. – 1975. – №5. – С. 7-10.

5. Недосека А.Я., Грузд А.А., Зубченко О.И., Ищенко С.Б. Эффективность методов снижения остаточных сварочных напряжений // Автоматическая сварка. – 1974. – №3. – С. 66-69.

6. ГОСТ 26388-84. Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивление образованию холодных трещин при сварке плавлением.

7. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.

8. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.