

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ
И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ
НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ СТАЛИ 12Х18Н10Т**

Зарипов М.З., Ибрагимов И.Г., Ризванов Р.Г.,
Файрушин А.М., Мухаметзянов З.Р.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
email: mzzaripov@mail.ru*

Рассмотрено влияние вибрационных и ультразвуковых колебаний, накладываемых на свариваемые детали в процессе сварочного цикла, на механические свойства и стойкость к межкристаллитной коррозии сварных соединений из стали 12Х18Н10Т.

На основе предыдущих публикаций выполнен анализ основных способов снижения склонности металла сварного шва из стали 12Х18Н10Т к межкристаллитной коррозии. Приведена методика проведения экспериментальных исследований с описанием выбранных режимов сварки и сопутствующей обработки, представлены результаты испытаний сварных образцов на стойкость к межкристаллитной коррозии, ударный изгиб, статическое растяжение и малоцикловую выносливость.

В проведенных экспериментах получены графические зависимости прочностных характеристик металла шва для режимов вибрационной и ультразвуковой обработки свариваемых деталей и предложены рекомендации по повышению качества сварных соединений из стали марки 12Х18Н10Т.

Ключевые слова: хромоникелевая аустенитная сталь, режим сварки, межкристаллитная коррозия, термическая обработка, вибрационные и ультразвуковые колебания, механические свойства, микроструктура, сварной шов

Одним из путей в развитии современного нефтяного и химического машиностроения, направленных на повышение надежности и долговечности выпускаемой продукции, является создание и применение новых энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки материалов и изготовления деталей при производстве технологического оборудования.

Особенно это актуально для нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности, где проблема преждевременного выхода из строя оборудования, подвергающегося в процессе эксплуатации значительным механическим нагрузкам и работающего в непосредственном контакте с агрессивными средами, является особенно важной.

Это предопределило необходимость совершенствования процессов сварки, широко применяемых для изготовления оборудования нефтегазопереработки, с целью повышения надёжности эксплуатируемого оборудования.

Анализ применяемых марок сталей в нефтяном и газовом аппаратостроении (табл. 1) показывает, что наиболее часто среди высоколегированных сталей используется сталь марки 12Х18Н10Т.

Это объясняется тем, что аустенитные хромоникелевые стали, к которым относится сталь марки 12Х18Н10Т, обладают хорошей свариваемостью, высокой пластичностью и ударной вязкостью, высокими механическими свойствами при отрицательных температурах, устойчивостью против окисления на воздухе и в атмосфере продуктов сгорания топлива при температурах ниже 900 °С, что обеспечивает надежную работу сварных конструкций в течение длительного времени.

Таблица 1

Состав используемых для изготовления технологического оборудования материалов по данным предприятий за 2008 г.

Наименование предприятия-изготовителя	Используемый для изготовления аппаратов материал, %			
	Низколегированные стали	Высоколегированные стали / в том числе 12Х18Н10Т	Углеродистые стали	Прочие
ОАО «УТС - Туймазыхиммаш»	52	28/23	16	4
ОАО «Салаватнефтемаш»	65	22/18	10	2
ОАО «ВНЗМ»	63	18/14	17	2

Это позволяет использовать сталь 12Х18Н10Т для сварных конструкций в криогенной технике при температуре до -269 °С, для емкостного, теплообменного и реакционного оборудования, в том числе для паронагревателей и трубопроводов высокого давления с температурой эксплуатации до 600 °С, для деталей печной аппаратуры, муфелей, коллекторов выхлопных систем.

Кроме того, жаропрочность и жаростойкость стали 12Х18Н10Т (максимальная температура применения жаростойких изделий из этой стали в течение 10 000 ч составляет 800 °С, температура начала интенсивного окалинообразования составляет 850 °С) позволяют применять ее при изготовлении многих деталей газовых турбин реактивной авиации, в судовых газотурбинных установках, стационарных газовых турбинах, при перекачке нефти и нефтепродуктов, в аппаратуре

крекинг-установок, при гидрогенизации топлива, в нагревательных металлургических печах, при изготовлении клапанов выпуска авиационных поршневых моторов, лопаток газовых турбин турбокомпрессоров надува авиамоторов.

Однако, при уникальном комплексе физико-механических свойств, исследуемая сталь имеет и ряд недостатков: невысокую прочность и твердость, высокую чувствительность к напряжению при нагрузках и что особенно необходимо отметить, подверженность сварных швов межкристаллитной коррозии (МКК).

МКК – одна из наиболее опасных разновидностей местной коррозии стали и сплавов, вызывающая избирательное разрушение по границам зерен, в результате которого теряются прочность и пластичность материала и преждевременно разрушаются конструкции [2].

Известно, что возникновение склонности к МКК и скорость роста коррозионных трещин у хромистых и хромоникелевых сталей связано с образованием в границах зерен карбидной сетки $Me_{23}C_6$ — $(Cr,Fe)_{23}C_6$ и обезлегированием по хрому приграничных областей твердого раствора, по которым развивается коррозионная трещина [2]. Скорость роста карбидных частиц, в свою очередь, связана с температурой разогрева и химическим составом стали, в основном с содержанием углерода, никеля, кремния и др. примесей.

Также установлено, что пластическая деформация повышает склонность хромоникелевых сталей к МКК.

С учетом установленных причин образования МКК были разработаны технологии снижения склонности металла сварного шва к МКК, основными из которых являются [3]:

- стабилизация;
- снижение содержания углерода в стали до 0,03 % и меньше;
- термическая обработка.

Следует отметить, что приведенные выше способы снижения склонности металла сварного шва к МКК обладают рядом существенных недостатков.

Технологии стабилизации и снижения содержания углерода в стали являются материально затратными, а термическая обработка, как основной метод снятия остаточных напряжений в конструкциях и предотвращения разрушения металла, является энергоемким технологическим процессом, требующим больших

производственных площадей и, кроме того, является неэкологичным процессом.

Все это вызывает необходимость в исследованиях, направленных на поиск новых путей к снижению склонности металла сварного шва к МКК, при этом менее затратных и максимально продуктивных.

Теоретическое изучение этой проблемы позволило авторам статьи сделать вывод о целесообразности продолжения исследований в вопросе установленного ранее [3] воздействия вибрационных колебаний, приложенных к свариваемой детали в процессе сварки, на свойства получаемых сварных соединений. Такой подход к решению задачи разработки более эффективной технологии снижения склонности к МКК с точки зрения уменьшения себестоимости, объясняется возможностью применения в технологии более простых по конструкции вспомогательных приспособлений и способностью адаптации к промышленному применению.

Для этого авторами статьи были проведены эксперименты по воздействию на сварочную ванну вибрационных и ультразвуковых колебаний в процессе сварочного цикла с целью изучения их влияния на снижение склонности к МКК.

В процессе экспериментов было получено 4 сварные заготовки, каждая из которых изготавливалась стыковой сваркой двух пластин толщиной 6 мм с применением электродов Э-08Х19Н10Г2Б марки ЦТ-15 диаметром 3 мм (рис. 1).



Рисунок 1. Пластины перед сваркой

Три заготовки были сварены с использованием сопутствующей обработки определённого вида, одна – без обработки (табл. 2).

Таблица 2

Режимы сварки и обработки исследуемых сварных образцов

Тип обработки	Вид обработки в процессе сварки	Вид сварки, режим
1	Вибрационная обработка (частота 50 Гц, амплитуда от 0,6 до 0,8 мм)	Ручная дуговая сварка электродом ЦТ-15 (диаметр 3 мм) силой тока $I_{св} = 70 \dots 100 \text{ А}$
2	Вибрационная обработка (частота 100 Гц, амплитуда от 0,6 до 0,8 мм)	
3	Ультразвуковая ударная обработка (частота 25-27 кГц)	
4	Без обработки	

Для создания виброколебаний в процессе сварки был сконструирован вибростол. Фотография вибростола изображена на рис. 2.



Рисунок 2. Фотография вибростола

С помощью виброизмерительного прибора Вибротест-МГ4+ измерялась амплитуда виброперемещений и частота колебаний свариваемых деталей. Амплитуда для всех режимов виброобработки составляла от 0,6 до 0,8 мм.

Для выполнения ультразвуковой ударной обработки в процессе сварки применялся технологический комплекс ИЛ100-16 «Шмель» (рис. 3). Комплекс состоит из ультразвукового инструмента, ультразвукового генератора и соединени-

тельных элементов обеспечения работы в цеховых и полевых условиях. Ультразвуковой генератор оснащен встроенной системой охлаждения.



Рисунок 3. Технологический комплекс «Шмель»

После сварки на заданных режимах из сварных заготовок были вырезаны образцы для проведения механических испытаний и исследований на стойкость к МКК. Испытания на МКК проводились по ГОСТ 6032-2003 методом АМУ [4]. Образцы стали помещали в стеклянную колбу с обратным холодильником. Затем реакционный сосуд с раствором сернокислой меди и серной кислоты в присутствии металлической меди (стружки) нагревали и непрерывно кипятили в течение $(8,00 \pm 0,25)$ ч, не допуская перегрева холодильника. После чего производится изгиб образца на угол $90^\circ \pm 5^\circ$ с последующим осмотром загнутой поверхности на наличие трещин при помощи лупы 7 - 12 кратного увеличения. Осмотр поверхности изгиба позволяет выявить наличие трещин, которые свидетельствуют о склонности стали к МКК. Результаты испытаний показали, что образцы, сваренные без вибрационной или ультразвуковой ударной обработки оказались подвержены МКК. Образцы, полученные с применением вибрационной или ультразвуковой ударной обработки, показали стойкость к МКК без образования трещин при загибе.

Помимо исследований на стойкость к МКК на вырезанных образцах проводились механические испытания на ударный изгиб, статическое растяжение и ма-

лоцикловую выносливость, исследования микроструктуры металла сварного соединения.

Для испытания на растяжение были вырезаны образцы двух типов (XIII и XXIV по ГОСТ 6996-2005). Образцы типа XIII использовались для оценки прочности сварных соединений, на образцах типа XXIV определялись механические характеристики металла сварных швов.

При испытаниях сварных соединений на растяжение разрушение образцов с сопутствующей обработкой происходило по основному металлу. Это даёт основание считать, что при данных режимах сварки при сопутствующей вибрационной или ультразвуковой обработке, как металл шва, так и металл околошовной зоны имеют прочностные характеристики не ниже, чем основной металл. Результаты испытаний на растяжение образцов типа XXIV приведены на рис. 4. Из данного рисунка видно, что виброобработка при частоте 50 Гц (тип 1) и ультразвуковая ударная обработка (тип 3) повышают прочностные характеристики металла шва.

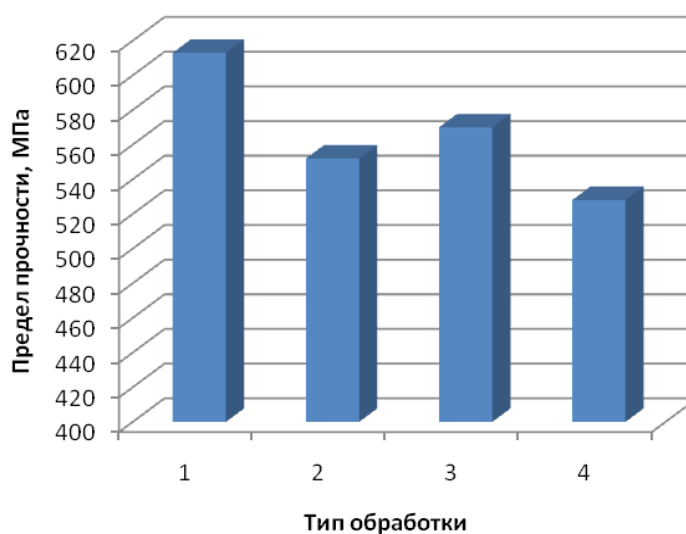


Рисунок 4. Средние значения предела прочности образцов

Испытания металла различных участков сварного соединения на ударный изгиб проводились по типу VI ГОСТ 6996-66 [5]. Результаты испытаний на ударную вязкость металла сварного соединения показали, что при амплитудах вибрации в интервале от 0,6 до 0,8 мм значение ударной вязкости металла сварного шва

практически не изменяется, а в зоне термического влияния увеличивается как минимум на 11 % (рис. 5).

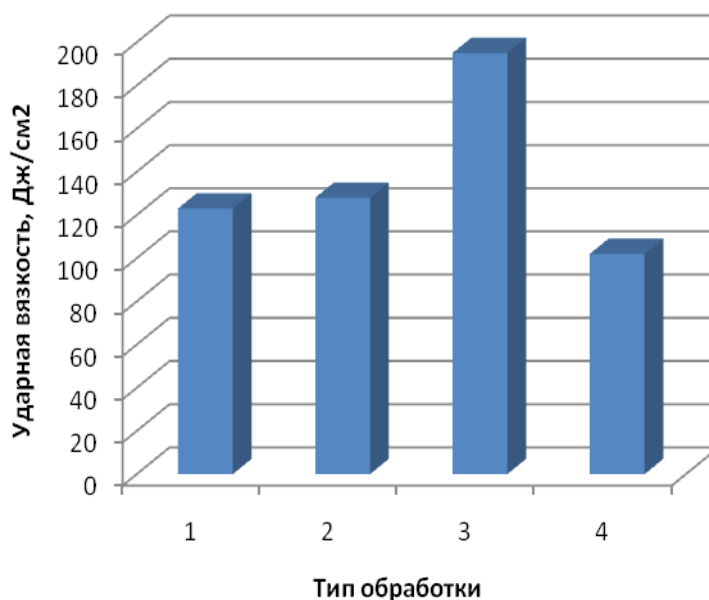


Рисунок 5. Средние значения ударной вязкости образцов

Испытания на усталостную долговечность образцов проводились по схеме чистого симметричного изгиба в одной плоскости на изготовленной в УГНТУ установке для испытания на малоцикловую усталость (рис. 6). Образцы подвергались малоцикловому нагружению до усталостного разрушения. Из полученных значений числа циклов до разрушений образцов построена диаграмма влияния сопутствующей обработки на малоцикловую прочность образцов (рис. 7).

Из диаграммы видно, что и вибрационная и ультразвуковая ударная обработки способствуют увеличению числа циклов нагружения образцов до их разрушения. Наибольшее значение количества циклов достигается при использовании ультразвуковой ударной обработки. Исходя из этих результатов можно предположить, что вибрационная и ультразвуковая обработки в процессе сварки положительно влияют на усталостную долговечность.

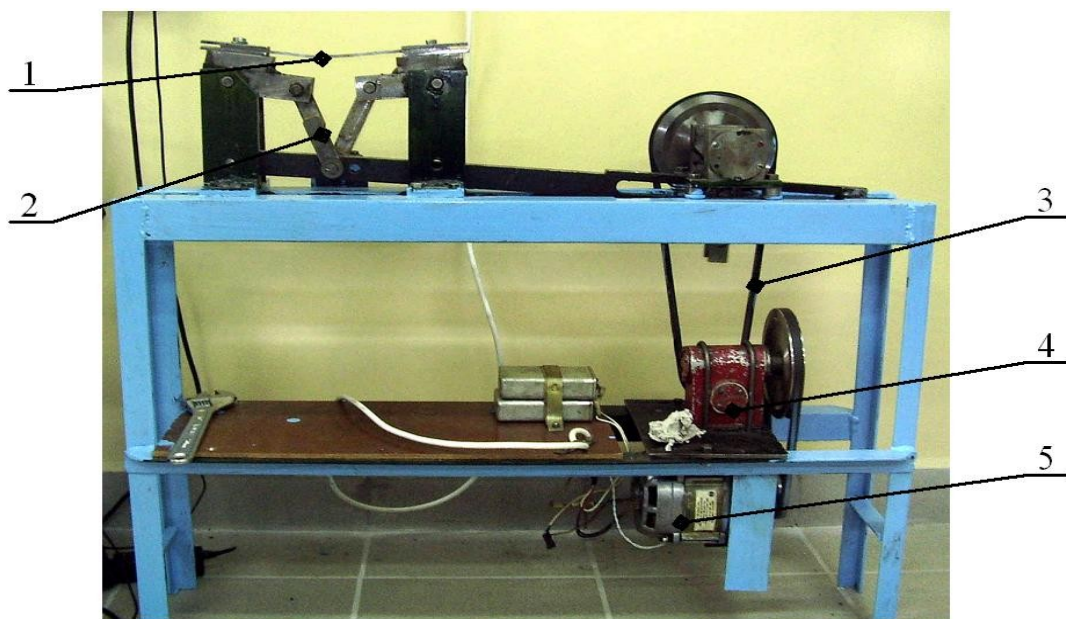


Рисунок 6. Схема установки для испытания образцов на малоцикловую усталость:

1 – образец; 2 – кривошипный механизм;
3 – ременная передача; 4 – редуктор; 5 – электродвигатель

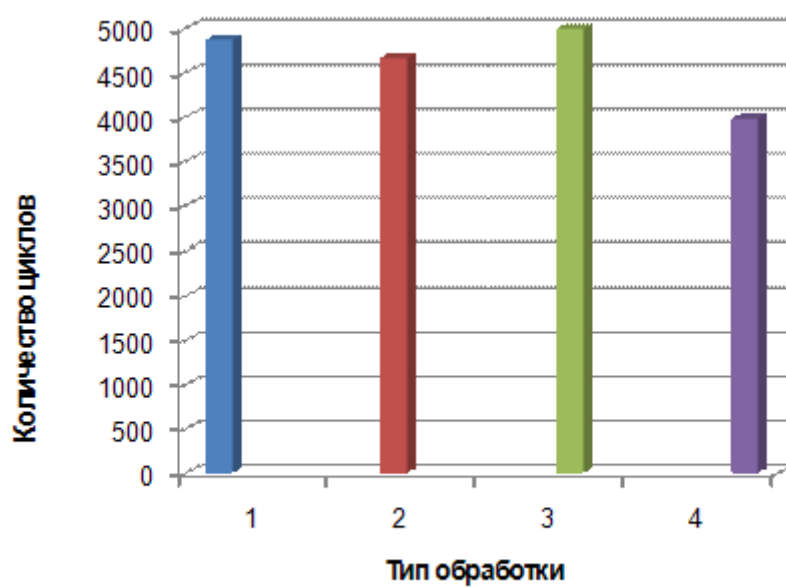


Рисунок 7. Средние значения числа циклов до полного разрушения образцов

Для определения структуры металла в сварном шве и околошовной зоне в зависимости от сопутствующей обработки при сварке было проведено металлографическое исследование образцов.

Результаты микроструктурного анализа сварных швов, полученных при различных режимах сварки, представлены на рис. 8 (увеличение в 300 раз).

Обработка металлографических снимков осуществлялась с помощью программы SIAMS 600, которая позволяет достаточно быстро провести расчет среднего размера зерна и фазового состава микроструктуры без дополнительной обработки снимка.

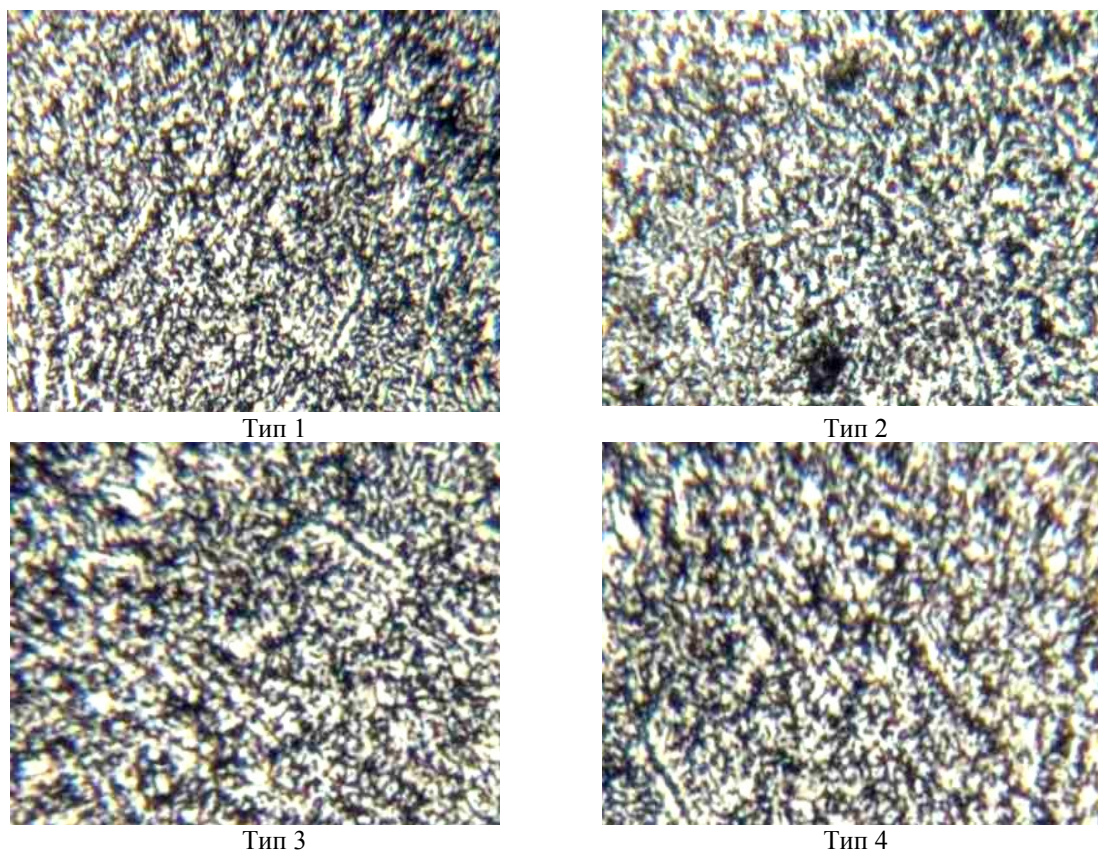


Рисунок 8. Микроструктура металла шва, полученного при различных типах обработки ($\times 300$)

Данные по расчету среднего размера зерна в сварном шве представлены на диаграмме (рис. 9).

Результаты исследования влияния вибрационной и ультразвуковой ударной обработки на величину зерна аустенита в сварном шве показывают, что размер зерна без сопутствующей обработки получается больше, чем с обработкой.

Так, при применении ультразвуковой ударной обработки с частотой 25 - 27 кГц величина зерна аустенита уменьшается на 3,8 %; при применении вибрационной обработки с частотой 100 Гц и амплитудой от 0,6 до 0,8 мм величина зерна аустенита уменьшается на 15,4 %; при применении вибрационной обработки с частотой 50 Гц и амплитудой от 0,6 до 0,8 мм величина зерна аустенита уменьшается на 23,1 %.

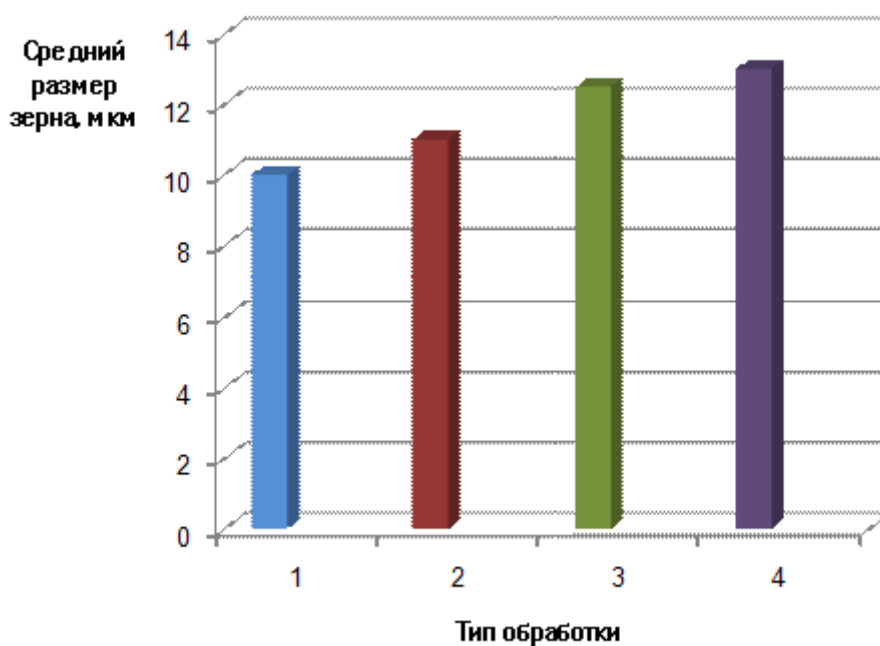


Рисунок 9. Диаграмма зависимости среднего размера зерна аустенита в сварном шве от типа обработки во время сварки

На основании полученных в ходе проведения исследований результатов можно сделать следующие выводы:

1. вибрационная и ультразвуковая ударная обработка в процессе сварки позволяют увеличить стойкость металла шва сварного соединения из стали 12X18H10T к МКК;

2. вибрационная обработка при частоте 50 и 100 Гц и амплитуде от 0,6 до 0,8 мм, выполняемая в процессе сварки, повышает сопротивление усталостному разрушению при нагружении в области упругопластических деформации сварных соединений из стали 12X18H10T на 18...22 %, а ультразвуковая ударная обработка при частоте 25...27 кГц – на 24...26 %;

3. вибрационная обработка, применяемая при сварке, уменьшает величину зерна, что способствует образованию более однородной структуры в металле шва.

Литература

1. Семёнова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: Физматлит, 2002. 336 с.
2. Каховский Н.И. Сварка нержавеющей сталей. Киев: Техніка, 1968. 312 с.
3. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Карпов А.Л., Зарипов М.З. Исследование влияния виброобработки в процессе сварки на свойства сварных соединений нефтегазового оборудования из стали 09Г2С // Нефтегазовое дело. 2007. № 5 С. 183-186.
4. ГОСТ 6032-2003 Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии. М.: Изд-во стандартов, 2004. 24с.
5. ГОСТ 6996-2005 Соединения сварные. Методы определения механических свойств. М.: Изд-во стандартов, 2006. 41с.