

На правах рукописи

ФАЙРУШИН АЙРАТ МИННУЛЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

Специальность 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы»
(Машиностроение в нефтеперерабатывающей промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа - 2003

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В условиях рыночной экономики дальнейшее развитие машиностроения немислимо без экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов, экономного расходования металла, топлива, электроэнергии. Одним из перспективных направлений в экономии материальных и энергетических ресурсов является повышение точности заготовок и деталей машин и агрегатов в процессе их изготовления, максимальное приближение формы и размеров заготовки к детали, создание менее энергоемких технологических процессов за счет широкого применения различных методов обработки металлов.

В различных отраслях машиностроения большое распространение имеет класс оболочковых деталей и узлов: обечайки, кольца жесткости, днища. В нефтяном машиностроении указанный класс узлов и деталей имеет значительную металлоемкость и требует больших затрат энергии при изготовлении.

Особенностью процесса изготовления оболочковых элементов (обечаяк, днищ и т.д.), изготавливаемых холодным пластическим изгибом и сваркой замыкающего стыка или гибкой профиля в горячем состоянии и последующей сборкой и сваркой замыкающего стыка, является необходимость проведения термической обработки с целью снятия остаточных технологических изгибных и сварочных напряжений.

Анализ природы и механизма возникновения остаточных напряжений в кольцевых элементах нефтяного и химического оборудования и методов снятия этих напряжений говорит о том, что остаточные напряжения могут достигать значительных величин и оказывать существенное влияние как на точность изготовления, так и на работоспособность конструкций. Термическая обработка, как основной метод снятия остаточных напряжений в кольцевых конструкциях, является энергоемким технологическим процессом, требует

больших производственных площадей и, кроме того, является неэкологичным процессом.

Поэтому перспективным направлением производства базовых элементов нефтеперерабатывающей аппаратуры является процесс изготовления этих конструкций с применением менее энергоёмких методов, улучшающих их качество.

Цель работы. Совершенствование технологического процесса изготовления корпусов аппаратов из низкоуглеродистых сталей с применением вибрационной обработки.

Задачи исследований

1. Установление закономерностей возникновения остаточных напряжений и деформаций в обечайках корпусов аппаратов в процессе изготовления с целью выявления их влияния на геометрические и эксплуатационные параметры.

2. Исследование влияния вибрационной обработки на величину и распределение остаточных напряжений в обечайках корпусов аппаратов из низкоуглеродистых сталей.

3. Исследование влияния вибрационной обработки деталей в процессе сварки на уровень сварочных деформаций и механические свойства сварных соединений базовых элементов корпусов аппаратов.

4. Разработка технологического процесса вибрационной обработки для повышения качества изготовления нефтеперерабатывающей аппаратуры из низкоуглеродистых сталей.

Методы исследований

При теоретических исследованиях закономерностей деформирования металла использовались методы теории упругости и пластичности, а также численный метод решения задач сплошных сред – метод конечных элементов. При экспериментальных исследованиях использовали стандартные методы определения механических свойств, микротвердости и микроструктуры

металла. Обработку результатов экспериментов проводили с использованием методов математической статистики.

Основные защищаемые положения

1. Совокупность установленных в результате теоретических и экспериментальных исследований закономерностей и полученных аналитических зависимостей по оценке остаточных напряжений и деформаций, возникающих при изготовлении базовых деталей корпусов аппаратов.

2. Экспериментально обоснованные решения по повышению точности формы и размеров деталей корпусов аппаратов при изготовлении их с применением методов вибрационной обработки.

3. Усовершенствованная технология изготовления корпусов аппаратов с применением метода вибрационной обработки.

Научная новизна

1. Экспериментально получена зависимость величины отклонений диаметров сварных обечаек, подвергаемых вибрационной обработке при выполнении сварки, от амплитуды вибрации. Установлено, что при приварке внутреннего устройства в виде продольной пластины величина отклонений уменьшается с увеличением амплитуды вибрации. При амплитудах вибрации от 0,8 до 1,0 мм величина отклонений диаметров обечаек снижается на 60% по сравнению с отклонениями, возникающими без применения вибрационной обработки.

2. Экспериментально установлена зависимость средней величины и разброса остаточных напряжений от величины возмущающей силы при вибрационной обработке обечайки корпуса аппарата, которая показывает, что с увеличением возмущающей силы происходит снижение средней величины и разброса остаточных напряжений по объему обечайки.

3. Теоретически получена зависимость величины остаточных напряжений в обечайке, возникающих при гибке листовой заготовки, от толщины её стенки и радиусагиба, с учетом нелинейного деформационного упрочнения металла, расчеты по которой показали, что для низкоуглеродистых сталей с увеличением

относительной толщины обечайки с 0,005 до 0,03 величина остаточных напряжений в поверхностных слоях обечайки увеличивается на 20...25 %.

Практическая ценность

1. Разработана технология вибрационной обработки, обеспечивающая равномерность снятия остаточных напряжений по объёму обрабатываемой детали.

2. Разработаны конструкции устройств и технология проведения вибрационной обработки деталей в процессе сварки, позволяющие повысить точность изготовления корпусов нефтеперерабатывающих аппаратов из низкоуглеродистых сталей.

3. Предложенная технология изготовления оболочковых конструкций с применением вибрационной обработки принята к внедрению на ОАО «Салаватнефтемаш» (г. Салават).

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на республиканской научно-практической конференции молодых ученых «Молодые ученые - новому тысячелетию» (Уфа, 2000), конгрессе нефтепромышленников РФ «Техническая диагностика и ресурс» (Уфа, 2000), Втором Международном симпозиуме «Наука и технология углеводородных дисперсных систем» (Уфа, 2000), второй Всероссийской научно-технической конференции «Методы и средства измерений» (Нижний Новгород, 2000), 20-й юбилейной научно-технической конференции сварщиков Урала (Нижний Тагил, 2001), III конгрессе нефтегазопромышленников России "Проблемы нефти и газа" (Уфа, 2001), Международной конференции «Слоистые композиционные материалы» (Волгоград, 2001), Международном форуме по проблемам науки, техники и образования (Москва, 2001), 52-53-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (Уфа, 2001; 2002), 7-й Международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России» (Уфа, 2003), VI Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении - 2003» (Пенза, 2003).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано двенадцать печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, приложения и содержит 120 страниц машинописного текста, в том числе 69 рисунков, 12 таблиц, список использованной литературы из 149 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение раскрывает актуальность выбранной темы диссертационной работы.

В первой главе рассмотрены и проанализированы работы посвященные причинам возникновения остаточных напряжений, а также их влиянию на точность изготовления и эксплуатационные параметры аппаратов, применяемых в нефтеперерабатывающей промышленности. Показано, что при различных технологических операциях различны и причины, приводящие к неоднородным объемным деформациям, т.е. причины, вызывающие появление остаточных напряжений.

На основе работ В.М. Сагалевица, В.А. Винокурова, И.П. Байковой, А.Я. Недосека, К.М. Рагульскиса, В.Г. Полнова, М.Н. Могильнера, Е.П. Оленина, Г.В. Сутырина, В.А. Судника, В.С. Писаренко, О.И. Зубченко, В.А. Бубнова, В.А. Колота, В.М. Семенова, Ф.З. Шпеера и др. в главе дан обзор существующих методов предупреждения и снятия остаточных напряжений и деформаций, рассмотрены пределы применения и эффективность каждого из методов. Особое внимание уделено снятию остаточных напряжений в базовых элементах нефтеперерабатывающих аппаратов менее энергоёмкой вибрационной обработкой, также рассмотрены существующие конструкции для проведения данного процесса.

В заключении главы сделаны выводы о целесообразности и актуальности темы диссертации, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе проведено исследование закономерностей возникновения остаточных напряжений в базовых элементах корпусов аппаратов в процессе их изготовления. Был рассмотрен процесс изготовления обечаек из низкоуглеродистой стали методом гибки-вальцовки из листовой заготовки с последующей сваркой продольного стыка.

Цилиндрические обечайки корпусов нефтеперерабатывающих аппаратов изготавливаются в основном с применением операции гибки-вальцовки. При этом в металле заготовки возникают неравномерные по толщине пластические деформации, приводящие к возникновению после разгрузки остаточных напряжений. В данной главе проведен анализ работ, посвященных расчетному определению остаточных напряжений в обечайках, получаемых гибкой листовых заготовок. Предложен расчетный метод оценки остаточных напряжений, возникающих при изготовлении цилиндрических обечаек, для случая чистого упругопластического изгиба с учетом упрочнения металла по степенному закону, и проведены расчетные исследования закономерностей возникновения остаточных напряжений по толщине заготовки.

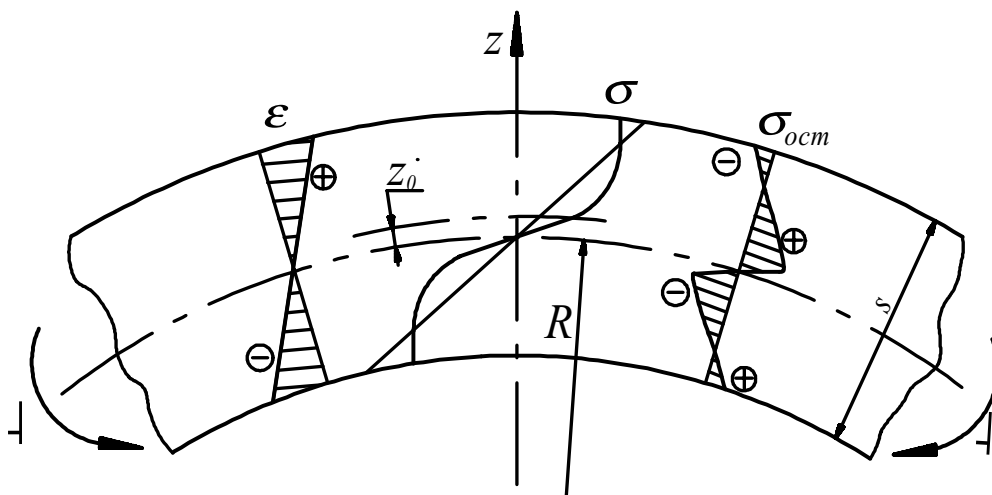


Рис. 1. Схема распределения деформаций и остаточных напряжений при чистом упругопластическом изгибе со степенным упрочнением металла

На основе анализа напряженно-деформированного состояния металла обечайки (рис. 1) получено выражение для определения остаточных напряжений в поверхностных слоях обечайки, изготовленной из низкоуглеродистой стали, которое записывается в виде

$$\sigma_{ост} = mR^n \cdot \ln(s) + kR^b,$$

где m , n , k , b – коэффициенты, зависящие от материала заготовки.

Для стали Ст3 данные коэффициенты имеют следующие значения: $m=26,6$; $n=-0,092$; $k=182,9$; $b=-0,167$.

Расчеты по полученной зависимости показали, что с увеличением относительной толщины обечайки с 0,005 до 0,03 (диапазон наиболее распространенных в нефтепереработке относительных толщин стенок корпусов аппаратов) величина остаточных напряжений в поверхностных слоях обечайки увеличивается на 20...25 %.

Во второй части главы приводятся результаты исследования напряженно-деформированного состояния металла сварного соединения и распределения остаточных сварочных напряжений по обечайке.

Для решения указанной задачи применение обычных расчетных методов возможно только при больших допущениях, что может привести к значительным отклонениям полученных результатов от действительных значений. Поэтому нами был использован метод конечных элементов, позволяющий учесть особенности деформирования сварного шва и обечайки, в частности, возникновение пластических деформаций. В ходе решения с применением конечно-элементного программного комплекса ANSYS была построена геометрическая модель цилиндрической обечайки и смоделировано сварное соединение. Задача решалась методом, основанным на применении температурных деформаций при охлаждении сварной конструкции. Данный метод моделирует процесс остывания сварного соединения. Такой подход по сравнению с методом фиктивных сил позволил получить более точные результаты.

Температурный анализ выполнялся моделированием остывания сварного шва и определением изменения температуры по обечайке. При построении конечно-элементной сетки геометрической модели цилиндрической обечайки был выбран восьмиузловой конечный элемент SOLID77. Полученное распределение температуры по объёму обечайки со швом использовалось как нагрузка при дальнейшем структурном анализе сварной обечайки.

При построении геометрической модели для определения напряженно-деформированного состояния обечайки принимался восьмиузловой конечный элемент SOLID45. Решение проводилось в упругопластической зоне нагружения с учетом пластических деформаций металла шва и обечайки. Было получено решение на примере обечайки толщиной стенки 20 мм, диаметром 1000 мм и длиной 1000 мм. Металл сварного шва и обечайки – низкоуглеродистая сталь.

Полученное распределение эквивалентных напряжений (по энергетической теории прочности) и деформированная форма обечайки после полного остывания продольного сварного шва показаны на рис. 2.

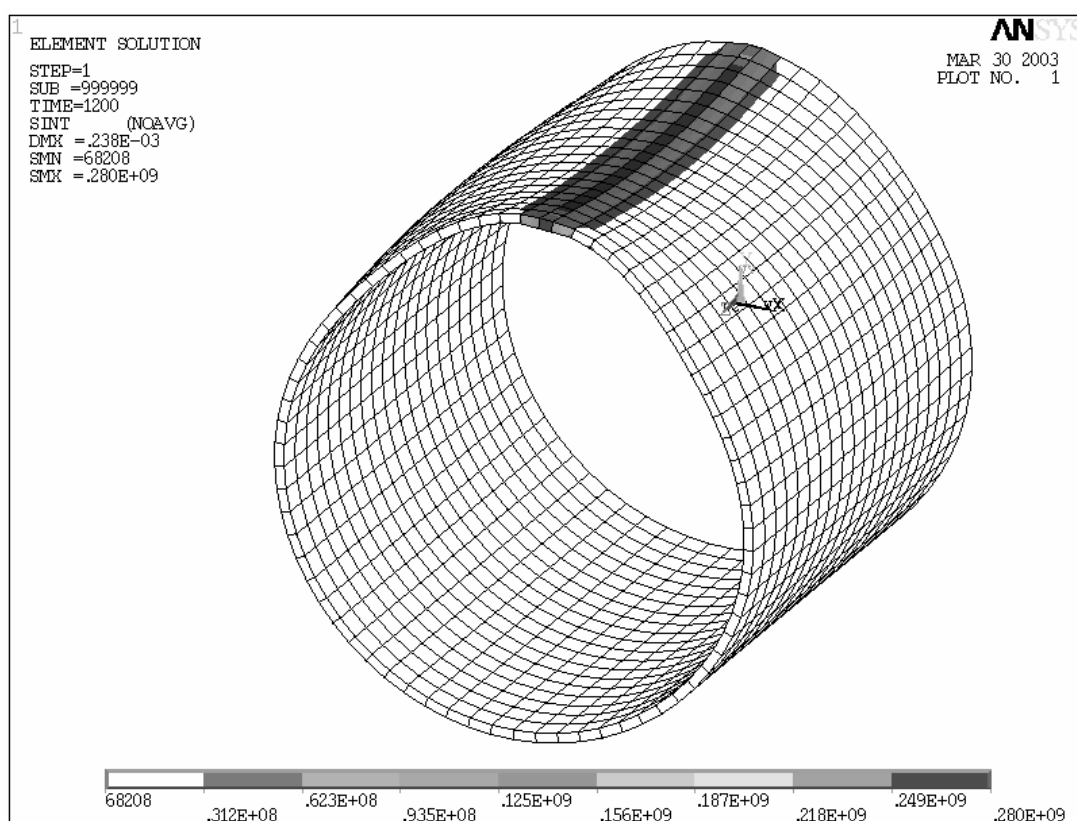


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений

Теоретические исследования показывают, что отклонение диаметров в процессе изготовления обечаек, изготавливаемых из углеродистой стали, происходит при сварке продольного стыка, однако остаточные напряжения, возникающие при гибке-вальцовке, также впоследствии снижают размерную стабильность и эксплуатационные характеристики корпусов аппаратов.

Далее в этой же главе с целью практического изучения влияния возникающих остаточных напряжений на точность изготовления корпусных

деталей приведены замеры наружных диаметров в двух плоскостях – в горизонтальной D_1 и вертикальной D_2 - после каждой технологической операции изготовления и сборки корпуса. Исследование проводили на примере изготовления корпуса нефтегазового сепаратора АГЗУ (толщина 12 мм, диаметр 720 мм, материал ВСт3сп). Было обследовано 25 корпусов сепараторов.

Ввиду того, что формирование стыковочных размеров обечаек носит наследственный характер и зависит от технологического процесса изготовления и сборки корпуса, то и замеры проводили поэтапно после каждой операции: операция *I* – изготовление обечайки из листа; операция *II* – вырезка отверстий под штуцера; операция *III* – приварка штуцеров; операция *IV* – приварка внутреннего устройства.

Результаты замеров, приведенные в диссертации, показывают, что наиболее существенно овальность возрастает на операциях *III* и *IV* (рис. 3). Это объясняется действием сварочных напряжений, возникающих в корпусе после приварки штуцеров и внутреннего устройства, а также деформационной релаксацией остаточных напряжений, возникающих в обечайке в процессе гибки.

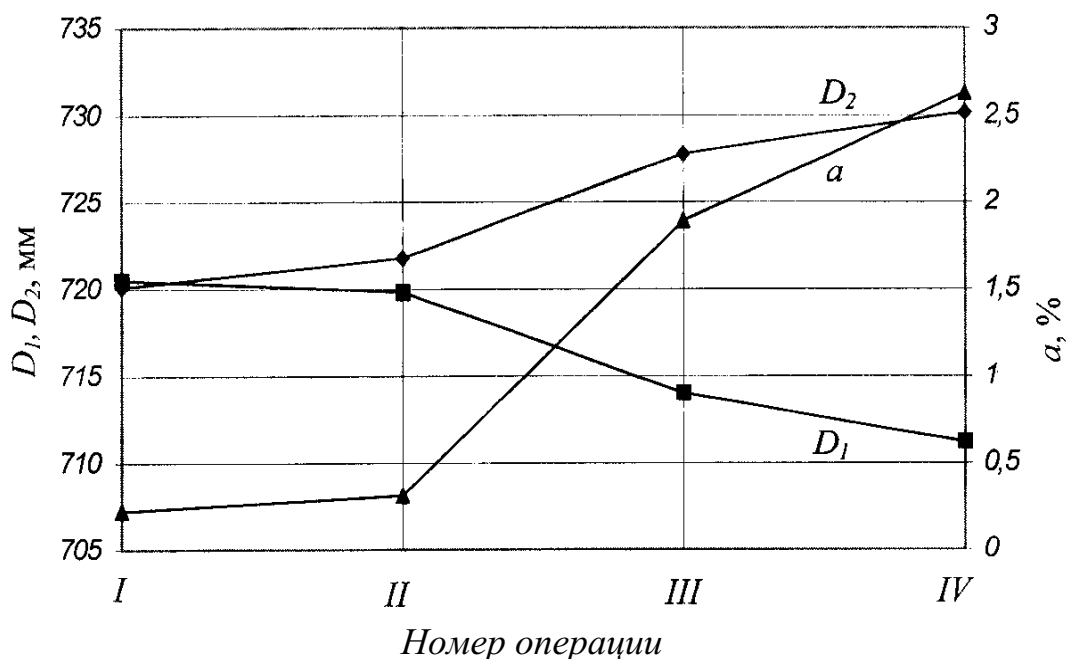


Рис. 3. Средние значения диаметров и относительной овальности после каждой операции

Таким образом, исследования показали, что отклонение формы сечения корпуса сепаратора в виде овальности имеет наследственный характер и изменяется от одной технологической операции к другой. Для исключения накопления погрешности формы сечения корпуса необходимо в процессе каждой технологической операции обеспечивать устойчивость формы, что может быть достигнуто уменьшением остаточных сварочных напряжений.

В третьей главе приведены результаты исследования влияния вибрационной обработки на механические характеристики и напряженно-деформированное состояние обрабатываемого металла.

Влияние вибрационной обработки на величину остаточных напряжений было исследовано на одном из базовых элементов корпуса аппарата – обечайке диаметром 1000 мм, толщиной стенки 10 мм и длиной 800 мм, изготовленной из низкоуглеродистой конструкционной стали ВСтЗсп.

Обечайка представляет собой конструкцию, сваренную из вальцованного листа. Из исследуемой обечайки были вырезаны кольцевые образцы шириной 200 мм. Для возбуждения вибрационных колебаний применяли промышленный электрический вибратор с круговыми колебаниями типа ИВ–99А–2 ТУ 22-4666-80, скорость вращения вала $n = 2775$ об./мин. Вибрационное устройство имеет возможность изменять величину возмущающей силы на 4000 Н, 6300 Н, 8000 Н.

Обработку производили при трёх режимах, соответствующих указанным значениям возмущающей силы. Образец при обработке располагался на специальной демпфирующей подушке, его ось и ось вибрационного устройства находились в одной плоскости. Схема обработки показана на рис. 4. Продолжительность обработки составляла 20 минут, так как из результатов многочисленных работ известно, что при увеличении времени обработки (более 20 минут) эффективность вибрационного воздействия снижается.

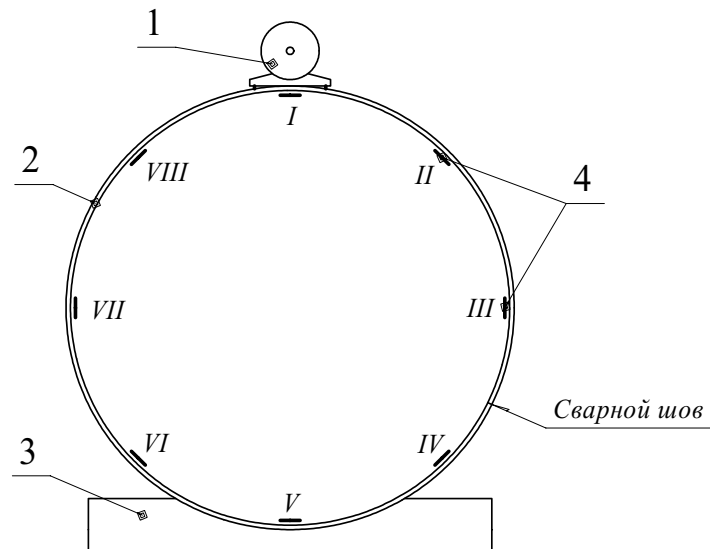


Рис. 4. Схема виброобработки образца:

1 – вибратор; *2* – образец; *3* – демпфирующая подушка; *4* – тензорезисторы (*I-VIII*)

Для количественной оценки эффективности вибрационного метода снятия остаточных напряжений, на внутренней поверхности образцов были наклеены тензорезисторы *I-VIII*. Помимо определения величины остаточных напряжений во внутренних слоях по окружности образцов при различных режимах вибрационной обработки, также исследовалось и распределение этих напряжений.

Необходимо подчеркнуть, что снижение остаточных напряжений по периметру образцов носит неравномерный характер (рис. 5). Как показывает рис. 5, с увеличением возмущающей силы при вибрационной обработке обечайки, наряду со снижением средней величины, происходит выравнивание остаточных напряжений по объему детали.

Максимальные остаточные напряжения после виброобработки имеют место на участке установки вибрационного устройства, т.е. в данной области снятие напряжений проходит менее эффективно. Поэтому необходимо проводить вибрационную обработку изменяя место приложения вибрационных возмущений в процессе снятия остаточных напряжений.

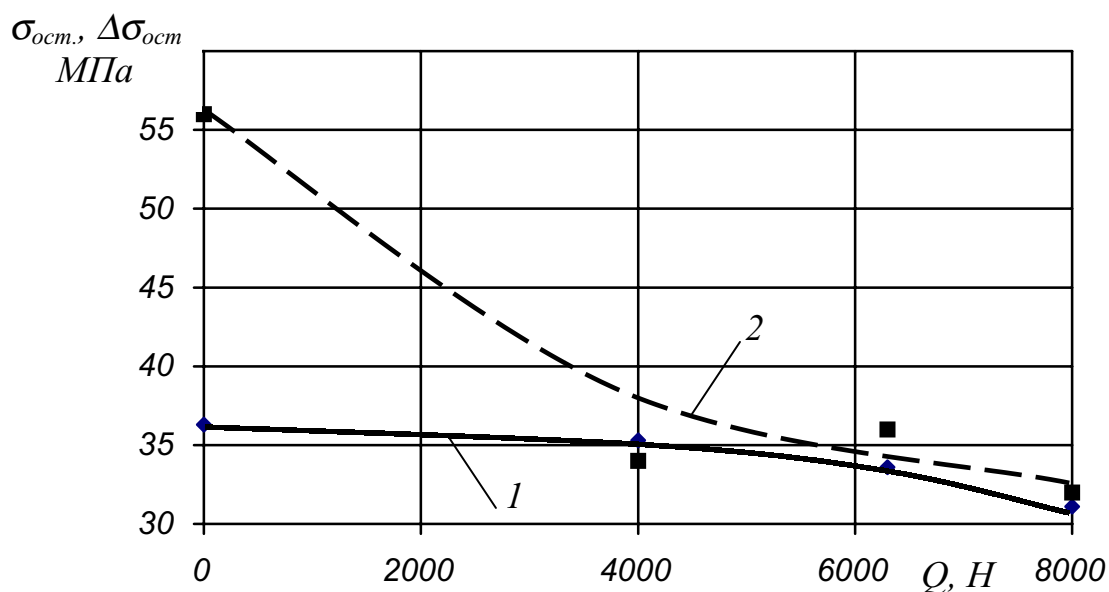


Рис. 5. Влияние величины возмущающей силы Q вибратора на:
 1 - уровень средних остаточных напряжений в образцах $\sigma_{ост, ср.}$;
 2 - разброс остаточных напряжений в образцах $\Delta\sigma_{ост}$

Для исследования влияния вибрационной обработки деталей при сварке на получение качественного сварного соединения был проведен ряд экспериментов, подробно изложенный в диссертации. Результаты экспериментов по выбору амплитуды вибрации показывают, что качественные сварные соединения при ручной электродуговой сварке (определяемые визуально) достигаются только при значении амплитуды вибрации не более 1,0 мм. Ручную электродуговую сварку производили на постоянном токе обратной полярности 100...120 А, при напряжении дуги 22...26 В, электродами Э50А-УОНИИ-13/55Р-УД ГОСТ 9466-75, диаметр электрода 3 мм. Сварка производилась в нижнем положении.

Дальнейшие исследования процесса сварки с сопутствующей вибрационной обработкой проводились на разработанном и изготовленном специальном вибростоле (рис. 6) при амплитуде вибрации в интервале от 0,4 до 1,0 мм и постоянной частоте 50 Гц. Изменение величины амплитуды вибрации при сварке достигалось при помощи дебалансов, установленных на валу вибрационного устройства.

Влияние величины амплитуды вибрации детали при сварке на механические свойства сварных соединений определялось в соответствии с ГОСТ 6996 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств».

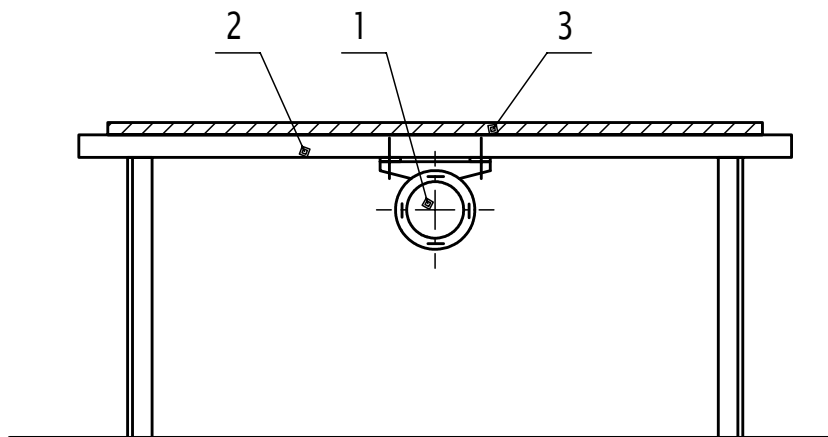


Рис. 6. Вибростол:

1 – вибрационное устройство; 2 – стол; 3 – заготовка

При испытаниях образцов на растяжение разрушение происходило по основному металлу. Это даёт основание считать, что при данных режимах сварки при сопутствующей виброобработке как металл шва, так и металл околошовной зоны имеют прочностные характеристики не ниже, чем основной металл.

Были проведены испытания металла различных участков сварного соединения на ударный изгиб (тип VI ГОСТ 6996). Для каждого испытания брали по 3 образца. По результатам испытаний построены графики, показанные на рис. 7.

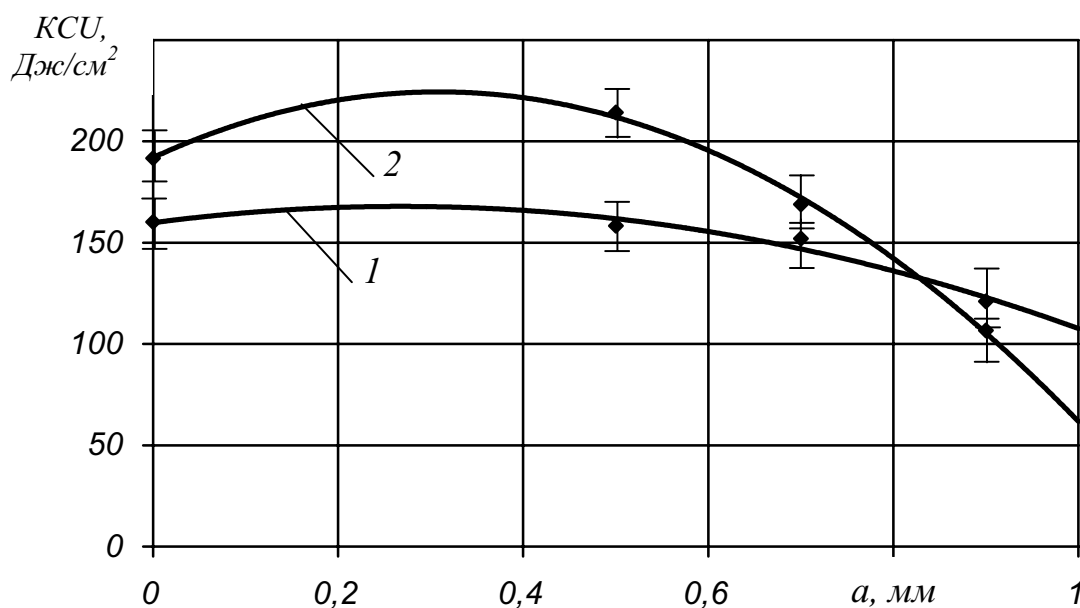


Рис. 7. Графики зависимости ударной вязкости KCU металла шва (1) и околошовной зоны (2) от величины амплитуды вибрации a при сварке

Графики на рис. 7 показывают, что при изменении амплитуды вибрации в интервале от 0,2 до 0,6 мм значение ударной вязкости в металле шва и околошовной зоны незначительно растёт, а при увеличении амплитуды вибрации более 0,6 мм значение ударной вязкости снижается как в металле шва, так и в металле околошовной зоны. Причем при амплитудах вибрации более 0,8 мм значение ударной вязкости снижается в зоне сварного шва на 30%, а в околошовной зоне более чем на 40% по сравнению со значением ударной вязкости при сварке без вибрационной обработки.

С целью изучения изменения структуры металла в сварном шве и околошовной зоне в зависимости от величины амплитуды вибрации при выполнении сварки были проведены металлографические исследования и исследования микротвердости образцов.

Измерение микротвердости металла проводили на микротвердомере ПМТ-10. Замеру подвергались участки сварного соединения: сварной шов, зона сплавления и зона термического влияния. Для точности результата в каждой зоне производили по 5 замеров. Результаты замеров приведены на рис. 8.

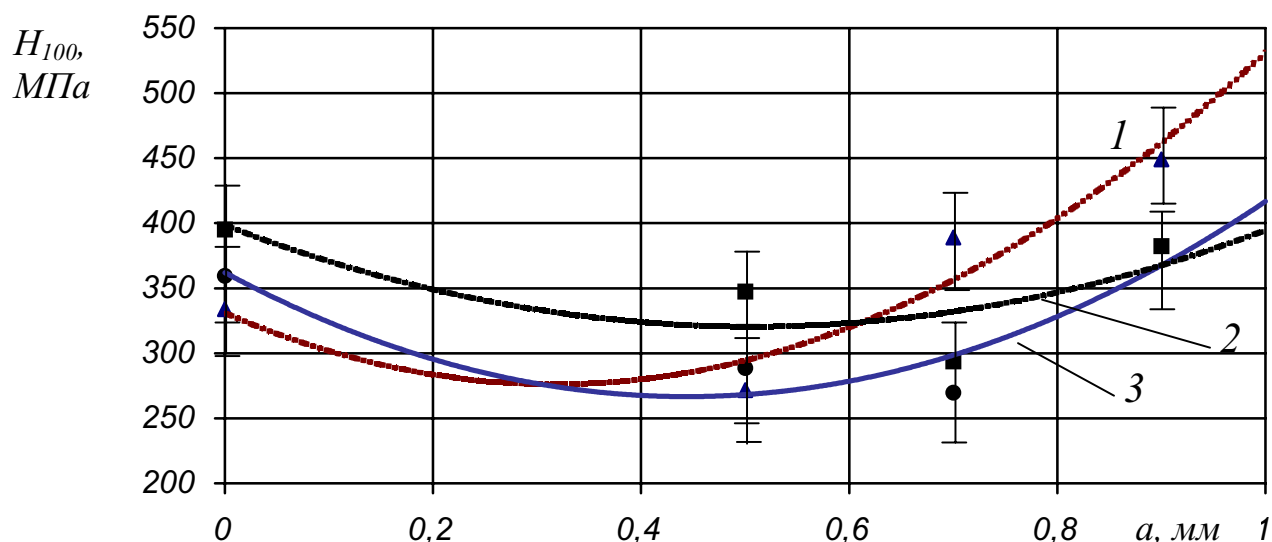


Рис. 8. Графики зависимости микротвердости металла H_{100} различных участков сварного соединения в зависимости от амплитуды вибрации a при сварке:

1 – сварной шов; 2 – зона сплавления; 3 – зона термического влияния

Графики наглядно показывают, что величина микротвердости имеет свои наименьшие величины при амплитудах вибрации в интервале от 0,2 до 0,6 мм. С повышением амплитуды вибрации возрастает значение микротвердости на всех участках металла сварного соединения.

Микроструктурные исследования проводились на оптическом микроскопе МИМ-8М с увеличением 200^{\times} . Результаты микроструктурного анализа металла сварных швов, полученных при сварке с сопутствующей вибрационной обработкой при различных амплитудах вибрации, показаны на рис. 9.

Из снимков микроструктуры сварного шва видно, что при виброобработке в интервале амплитуд от 0,4 до 0,6 мм строение имеет мелкодисперсную структуру, при амплитудах вибрации от 0,6 до 0,8 мм дисперсность снижается, при амплитуде выше 0,8 мм микроструктура металла шва подобна той, которая наблюдается при сварке без применения виброобработки.

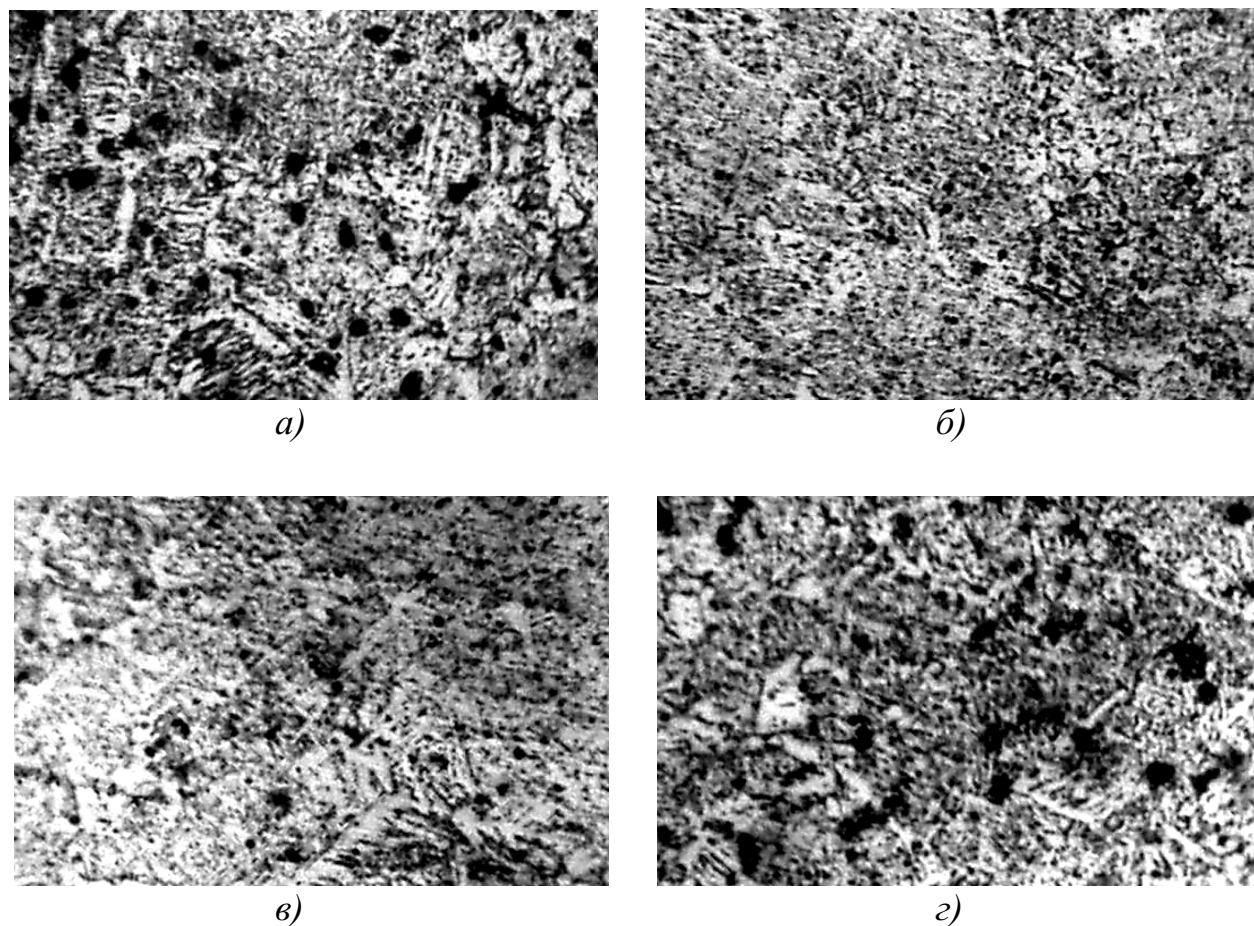


Рис. 9. Микроструктура металла сварного шва, $\times 200$:

а) без вибрации; *б)* амплитуда вибрации $a = 0,4 \dots 0,6$ мм;

в) $a = 0,6 \dots 0,8$ мм; *г)* $a = 0,8 \dots 1,0$ мм

Результаты микроструктурного анализа в зоне термического влияния при сварке с различными режимами вибрационной обработки показаны на рис. 10.

Результаты микроструктурного анализа металла в зоне, представленные на рис. 10, показывают, что с увеличением амплитуды вибрации величина зерна в этой зоне монотонно снижается, происходит его квазидробление. Однако, как было показано выше, при амплитудах вибрации выше 0,8 мм механические свойства металла сварного соединения имеют более низкие показатели, чем при вибрации в интервале амплитуд от 0,4 до 0,6 мм.

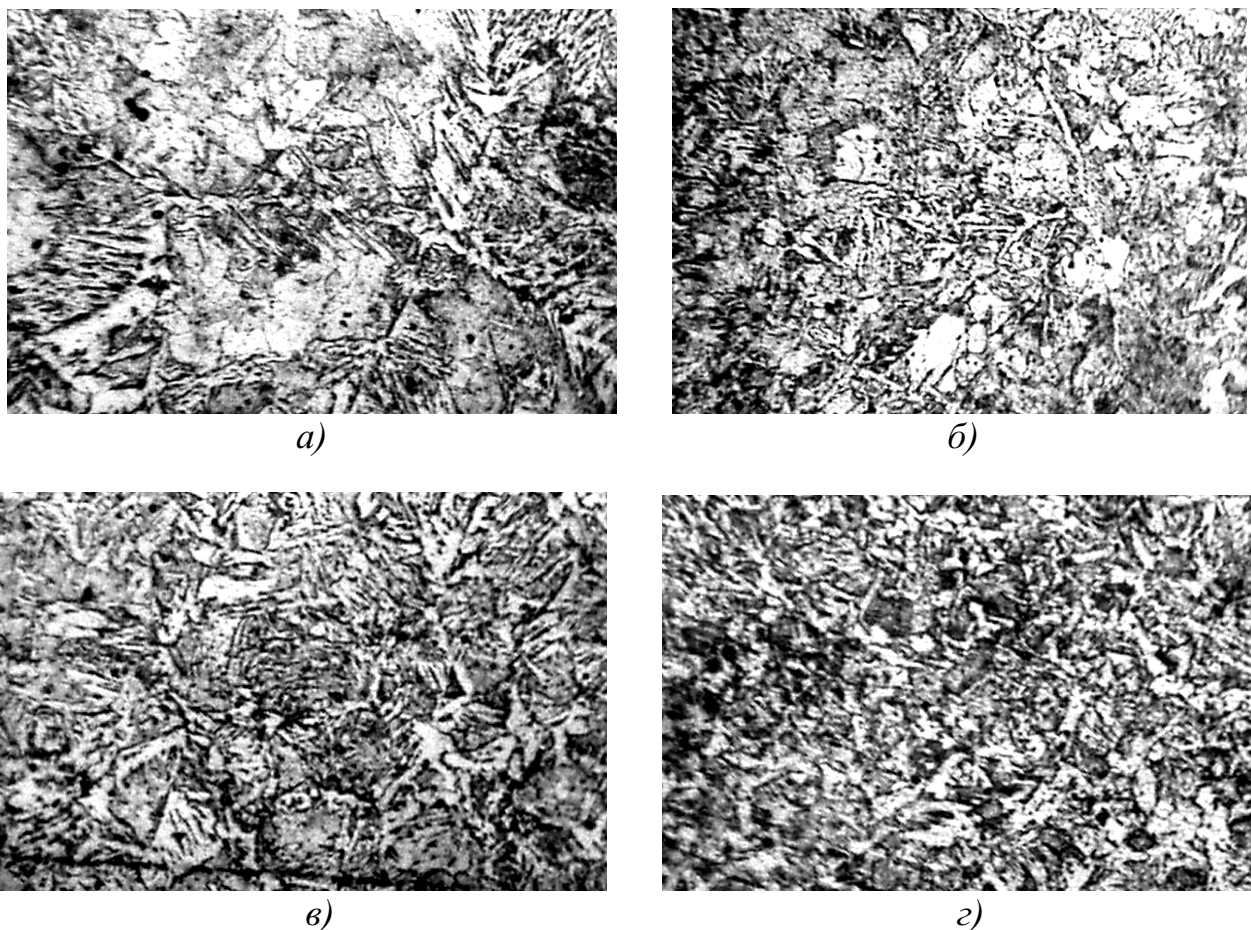
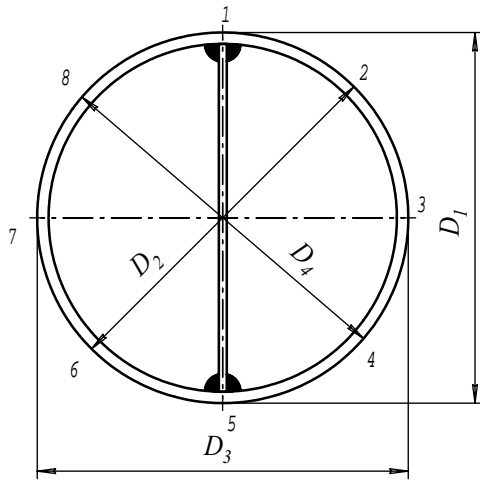


Рис. 10. Микроструктура металла в зоне термического влияния, $\times 200$:

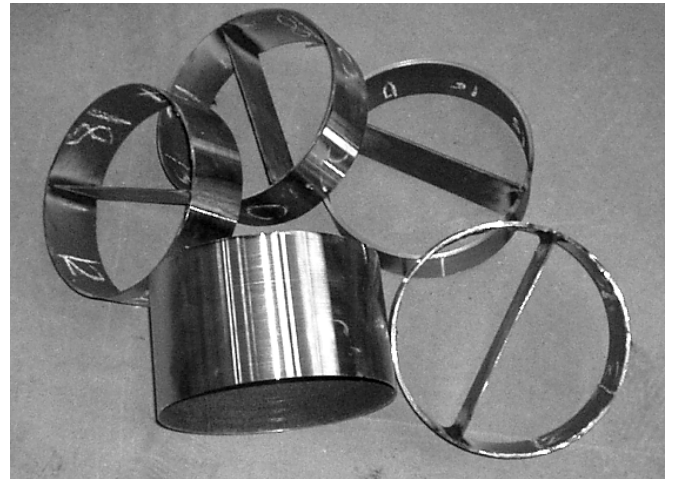
а) без вибрации; *б)* амплитуда вибрации $a = 0,4 \dots 0,6$ мм;

в) $a = 0,6 \dots 0,8$ мм; *з)* $a = 0,8 \dots 1,0$ мм

Также в главе приведены результаты исследования влияния вибрационной обработки, выполняемой при сварке, на точность изготовления базовых деталей нефтеперерабатывающих аппаратов. Исследование заключалось в определении величины отклонения диаметра кольцевых образцов при приварке в них продольной пластины. Для этого по окружности образцов наносили 8 меток, по которым предварительно измеряли диаметры (рис. 11,а). Затем образец крепили на вибростол и приваривали продольную пластину толщиной 2 мм при трёх режимах: сварка без вибрации; сварка с сопутствующей виброобработкой образца при амплитуде $a = 0,4 \dots 0,6$ мм; сварка с виброобработкой $a = 0,8 \dots 1,0$ мм. Сваренные образцы показаны на рис. 11,б. После приварки повторно производились замеры диаметров.



а)



б)

Рис. 11. Схема замера диаметров образца (а),
вид образцов после приварки продольной пластины (б)

По полученным результатам построена графическая зависимость величины средних отклонений ΔD_{cp} диаметра образцов от амплитуды вибрации a , представленная на рис. 12.

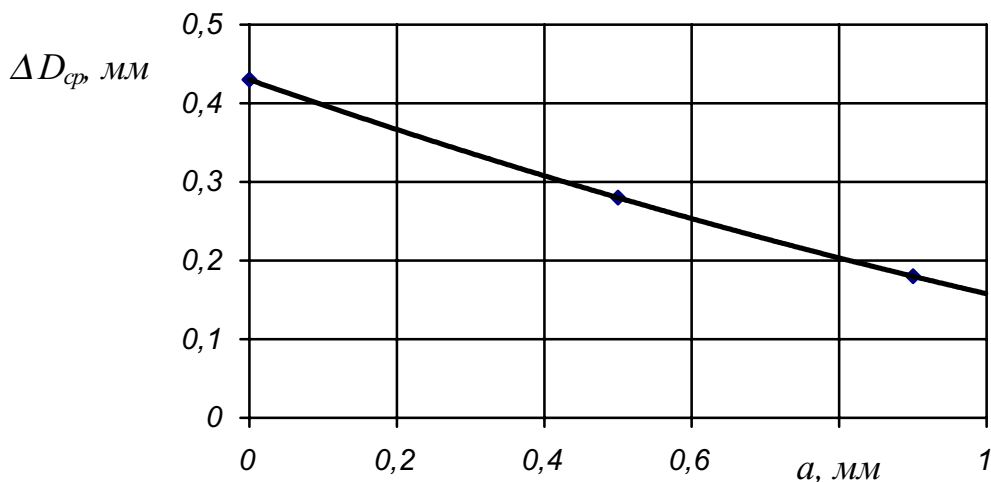


Рис. 12. График зависимости средних отклонений диаметров образцов ΔD_{cp}
от величины амплитуды вибрации a при сварке

Как видно из графика, при увеличении амплитуды вибрации детали при сварке величина средних отклонений снижается. Отсюда следует, что вибрация при сварке снижает остаточные сварочные напряжения, которые являются источником сварочных деформаций и значительно влияют на точность и стабильность геометрических параметров детали.

В четвертой главе разработан технологический процесс изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки.

В первой части главы с целью снятия остаточных напряжений вибрационной обработкой в базовых деталях корпусов, на основании изученных работ и полученных опытных данных, разработан технологический процесс виброобработки деталей, включающий в себя следующие этапы:

1. Установка детали на опоры вибростенда и закрепление вибрационного устройства на детали.

2. Сканирование всего частотного диапазона колебаний детали в диапазоне 0...200 Гц, запись амплитудно-частотной характеристики.

3. Медленное изменение частоты от минимальной до максимальной (0...200 Гц) с последовательной вибрационной обработкой в течение 2...3 минут на всех резонансных частотах (время обработки выбирается в зависимости от массы и габаритных размеров детали).

4. Если нагрузка, развиваемая вибратором, неравномерна по объёму детали, то необходимо произвести обработку с изменением местоприложения вибронагрузки. Для этого вибрационное устройство переустанавливается (для обечаек смещается по окружности на угол 45° , после чего обечайка поворачивается для установки вибратора на вертикальной оси, схема показана на рис. 13).

5. Повтор этапа 3.

6. Сканирование и сравнение характеристик.

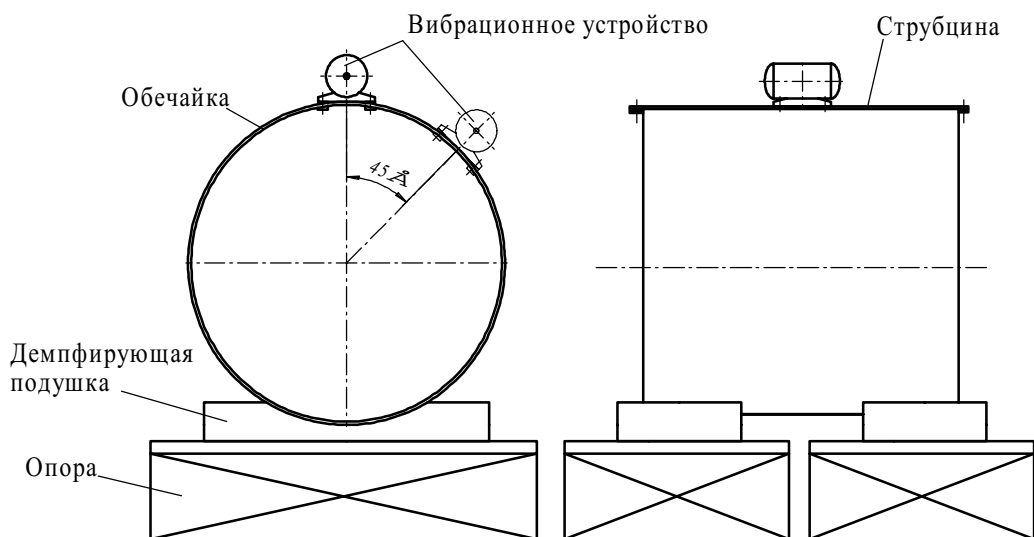


Рис. 13. Схема конструкции установки для вибрационной обработки базовых деталей корпусов аппаратов

При наличии двух вибрационных устройств для повышения производительности труда и уменьшения времени обработки можно выполнять одновременную обработку двумя вибрационными устройствами, установленными по периметру обечайки под углом 90° . При этом сокращение времени обработки идёт за счёт уменьшения количества этапов. По данной технологии обработки отпадает надобность в этапах 4 и 5. При этом для обеспечения синхронности колебаний вибраторов необходимо осуществлять их работу от одного источника питания.

Во второй части главы, с учетом проведенных исследований и полученных экспериментальных результатов, в опытном варианте разработана технология выполнения соединений базовых деталей из низкоуглеродистых сталей с применением низкочастотной вибрации, которая даёт возможность получать сварные соединения с уменьшенным уровнем остаточных сварочных напряжений и деформаций.

При изготовлении малогабаритных узлов сварка с сопутствующей вибрацией производится на специальном вибростоле (см. рис. 6). При сварке крупногабаритных оболочковых конструкций вибрации прикладываются локально к кромкам свариваемых деталей (рис. 14).

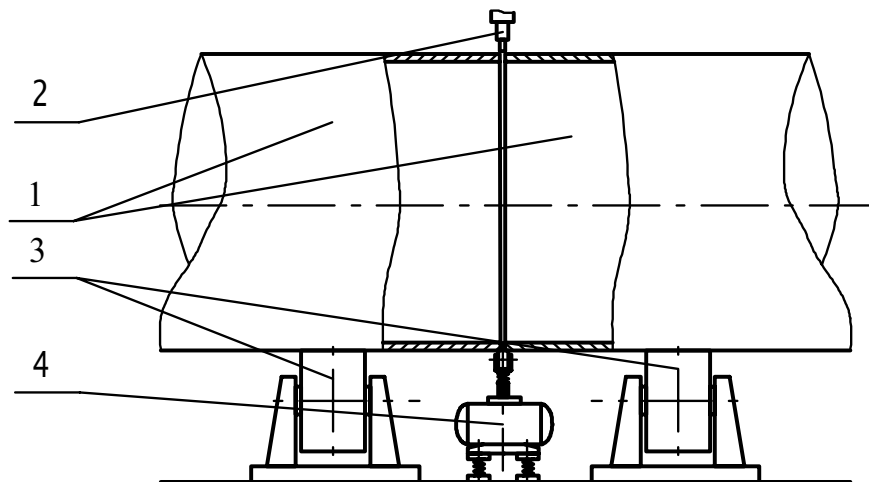


Рис. 14. Схема сопутствующей виброобработки при сварке соединений крупногабаритных деталей:

1 – свариваемые обечайки; 2 – сварочная головка; 3 – роликоопоры;
4 – вибрационное устройство

При сварке деталей из низкоуглеродистых сталей с применением виброобработки необходимо амплитуду вибрации выдерживать в пределах 0,4...0,8 мм. Технологические режимы ведения вибрационной обработки в процессе сварки выбраны в соответствии с результатами вышеописанных экспериментальных исследований.

На основе проведенных исследований и конструкторских разработок усовершенствован технологический процесс изготовления базовых деталей корпусов нефтеперерабатывающих аппаратов. Взамен трудоёмкой термообработки для снятия остаточных напряжений в базовых деталях корпусов используется вибрационная обработка. Для уменьшения сварочных деформаций применяется вибрационная обработка в процессе сварки. Предлагаемая схема технологического процесса изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки упрощенно показана на рис. 15.

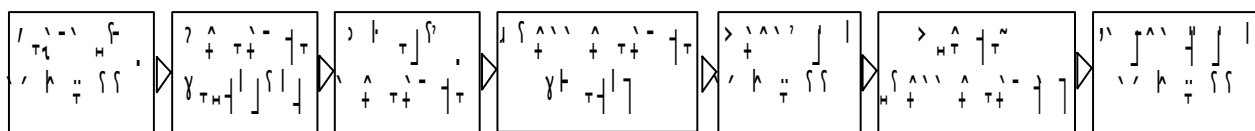


Рис. 15. Схема технологического процесса изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки

Выводы и рекомендации

1. На основе теоретических исследований предложен расчетный метод оценки остаточных напряжений, возникающих при изготовлении цилиндрических обечаек пластическим изгибом листовых заготовок, для случая чистого упругопластического изгиба с учетом нелинейного упрочнения металла. Данный метод позволяет получить более точные результаты по оценке остаточных напряжений в обечайке по сравнению с методами без учета упрочнения деформируемого металла и с учетом линейного упрочнения.

2. Экспериментально исследовано влияние вибрационной обработки на величину и распределение остаточных напряжений в обечайке корпуса аппарата. Установлено, что с увеличением возмущающей силы при вибрационной обработке обечайки корпуса аппарата наряду со снижением средней величины происходит выравнивание остаточных напряжений по объёму детали. На основе результатов исследований разработана технология

вибрационной обработки базовых деталей корпусов нефтеперерабатывающих аппаратов.

3. Экспериментально установлено, что вибрационные колебания, приложенные к свариваемой детали в процессе сварки, в интервале амплитуд от 0,4 до 0,6 мм способствуют получению мелкодисперсной структуры металла шва. В металле околошовной зоны размер зерна монотонно снижается с повышением амплитуды вибрации. Результаты испытаний на ударную вязкость и замеры микротвердости металла сварного соединения показывают, что при амплитудах вибрации в интервале от 0,2 до 0,6 мм значение ударной вязкости металла сварного шва практически не изменяется, а в зоне термического влияния (ЗТВ) увеличивается на 15%, значение микротвердости снижается в сварном шве в среднем на 15...20%, в ЗТВ – на 30%.

4. Проведены экспериментальные исследования, которые выявили зависимость величины отклонений диаметров сварных обечаек, подвергаемых вибрационной обработке при выполнении сварки, от амплитуды вибрации. Установлено, что при приварке внутреннего устройства в виде продольной пластины величина отклонений снижается до 60% с увеличением амплитуды вибрации до 0,8...1,0 мм. Применение виброобработки при получении сварных соединений базовых деталей позволяет повысить точность корпусов нефтеперерабатывающих аппаратов. Разработаны конструкции сборочно-сварочных стендов и технология проведения вибрационной обработки в процессе сварки. Предложен усовершенствованный технологический процесс изготовления корпусов аппаратов с применением вибрационной обработки.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Повышение качества кольцевых швов корпусов сосудов и аппаратов модернизацией сварочного стенда / Р.Г. Абдеев, Р.Г. Ризванов, А.М. Файрушин, А.Р. Абдюков // Молодые ученые новому тысячелетию: Сб. ст. республ. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Уфа: УТИС, 2000. – С. 132-136.

2. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Инсафутдинов А.Ф. Метод контроля геометрических параметров поперечных сечений базовых деталей нефтехимической аппаратуры // Тез. докл. II Всерос. науч.-техн. конф. – Нижний Новгород: МВВО АТН РФ, 2000. Ч. 1. – С. 24.

3. Повышение качества изготовления сварных корпусов нефтехимических аппаратов / А.М. Файрушин, А.Р. Абдюков, Д.Б. Кузнецов и др. // Тез. докл.

юбилейной 20-й науч.-техн. конф. сварщиков Урала. – Нижний Тагил: НТИ УГТУ-УПИ, 2001. – С. 85-86.

4. Обеспечение качества изготовления кольцевых сварных соединений нефтехимической аппаратуры / А.М. Файрушин, А.Р. Абдюков, А.М. Забатурин и др. // Тез. докл. юбилейной 20-й науч.-техн. конф. сварщиков Урала. – Нижний Тагил: НТИ УГТУ-УПИ, 2001. – С. 86-87.

5. Абдеев Р.Г., Ризванов Р.Г., Файрушин А.М. Влияние технологии изготовления на точность сечений корпусов нефтехимической аппаратуры // Проблемы нефти и газа: Науч. тр. III Конгресса нефтегазопромышленников России (Уфа, 23-25 мая 2001 г.). – Уфа: Реактив, 2001. – С. 331-332.

6. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М. Установка для вибрационной обработки базовых деталей нефтехимических аппаратов в процессе их изготовления // Проблемы нефти и газа: Науч. тр. III Конгресса нефтегазопромышленников России (Уфа, 23-25 мая 2001 г.). – Уфа: Реактив, 2001.. – С. 332-333.

7. Исследование гибки биметаллических обечаек корпусов нефтехимических аппаратов / Р.Г. Ризванов, А.М. Файрушин, Р.Х. Гарифуллин и др. // Слоистые композиционные материалы - 2001: Тез. докл. Междунар. конф. - Волгоград: ВолГТУ, 2001. – С. 289-230.

8. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Карпов А.Л. Исследование технологической наследственности формирования отклонения формы сечения корпусов нефтегазохимических аппаратов // Труды Междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. / Под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневого. – М.: Академия наук о Земле, 2001. – Т. 2. – С. 32-34.

9. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М. Оценка на топлинната ефективност на кожухотръбен топлообменник с отчитане овалността на корпуса // Годишник БСУ – VII. – Бургас (Болгария), 2002. – С.93-98.

10. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Сергеев А.Г. Устройство для вибрационной обработки при сварке // Тез. докл. 53-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. – Уфа: УГНТУ, 2002. – С. 8.

11. Оценка влияния размеров цилиндрической обечайки на величину остаточных напряжений после гибки / А.М. Файрушин, А.Л. Карпов, Е.М. Давлетшина, Р.Г. Ризванов // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. – Уфа: УГНТУ, 2003. – С. 220-222.

12. Файрушин А.М., Ризванов Р.Г., Карпов А.Л. Влияние величины вибрационной нагрузки на степень снижения остаточных напряжений в корпусах аппаратов // Сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. – Пенза, 2003. – С. 310-313.