

УДК 621.772

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ КОРПУСА
АППАРАТА ПРИ ЕГО ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ
В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ**

**NUMERICAL SIMULATION OF VESSEL SHELL OSCILLATIONS
INDUCED BY THE VIBRATORY TREATMENT DURING WELDING**

**Ризванов Р.Г., Али К. Беним, Файрушин А.М., Каретников Д.В.,
Хафизова О.Ф.**

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

Институт машиностроения и технологических процессов

Университета прикладных наук, г. Дюссельдорф, Германия

**ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет
"Горный"», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация**

**R.G. Rizvanov, Ali Cemal Benim, A.M. Fairushin, D.V. Karetnikov,
O.F. Khafizova**

**FSBEI HPE "Ufa State Petroleum Technological University",
Ufa, Russian Federation**

**Faculty of Mechanical and Process Engineering, Dusseldorf University of
Applied Sciences, Dusseldorf, Germany**

**FSBEI HPE "National Mineral Resources University (Mining University)",
Saint Petersburg, Russian Federation**

e-mail: tna_ugntu@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования наложения низкочастотных вибрационных колебаний на базовые элементы (обечайка, днище) цилиндрического корпуса аппарата диаметром 1600 мм

горизонтального типа с эллиптическим днищем без внутренних устройств с целью разработки технологии вибрационной обработки зоны сварных соединений, в процессе сварки под флюсом и повышения качества сварных соединений.

На сегодняшний день известно достаточное количество работ, в которых указывается положительное действие вибрационных колебаний накладываемых, как в процессе сварки конструкции, так и после неё. При этом, как правило, не указывается место установки вибрационного устройства. Особенно в тех случаях, когда производится локальная вибрационная обработка габаритных сварных конструкций, имеющих низкую жесткость.

В данной работе, используя методы конечно-элементного моделирования, было определено, что в процессе локального ввода вибрационных колебаний от двух источников работающих в одной фазе на частоте 150 Гц и амплитуде 1 мм с изменением заваренного участка шва в зоне сварки не возникает вынужденных колебаний амплитудой больше 1 мм. Таким образом, можно предположить, что в процессе сварки корпуса аппарата с локальной вибрационной обработкой на частоте 150 Гц и амплитудой 1 мм не будет возникать резонансных явлений, оказывающих негативное воздействие на свойства металла шва. Это позволит расширить применение технологии вибрационной обработки в процессе сварки корпусов аппаратов оболочкового типа.

Также получены зависимости частоты собственных колебаний деталей корпуса аппарата, диаметром 1600 мм, установленного на роликовые опоры, от заваренного участка шва для случаев: приварки обечаек друг к другу, приварки первого и второго днища к цилиндрическому корпусу. Установлено, что собственная частота колебаний деталей корпуса в зависимости от заваренного участка шва практически постоянна и с 1-й по 3-ю моду колебаний не превышает 90 Гц.

Abstract. Results of modeling low frequency oscillation superposition on primitive features of 1600 mm diameter vessel for vibration treatment of welding joints technology development are shown in this work.

Currently, there is a sufficient number of works in which indicated a positive effect of vibrations imposed in the process of welding and after it. Thus, as a rule, not the place for the installation of the vibration device. Especially in those cases when local vibration treatment of constructions with low rigidity is proceeded.

In this work, with using of finite element modeling methods was determined that in the process of a local input vibrations from two sources operating in the same phase at a frequency of 150 Hz and amplitude of 1 mm change brewed seam area in the weld zone does not occur internally oscillation amplitude greater than 1 mm. Thus, it can be assumed that during welding of the body vibration machine with a local treatment at the frequency of 150 Hz and an amplitude of 1 mm will not occur resonant phenomena, adversely affect the properties of the weld metal. This will expand the use of technology in the processing of the vibration welding process the cabinet shell type.

Also natural vibration frequency of the details the cabinet diameter of 1600 mm, mounted on castors, of brewed seam area for applications is obtained for next cases: welding the shells together, welding first and second bottom of the cylindrical housing. Determined that natural frequency of the body parts, depending on the brewed the seam area is almost constant and the 1st to the 3rd mode of vibration is less than 90 Hz.

Ключевые слова: вибрационная обработка, колебания, собственная частота, корпус аппарата, базовые элементы, оснастка для вибрационной обработки.

Key words: vibratory treatment, oscillations, natural frequency, shell of vessel, basic parts, tool set for vibratory treatment.

Проведенные в работах [1-5] исследования показали эффективность применения метода сопутствующего вибрационного воздействия с целью повышения качества сварных соединений, получаемых различными видами сварки плавлением. Суть метода заключается в наложении вибрационных колебаний на область сварочной ванны в процессе сварки. Метод применим практически ко всем видам дуговой сварки с учётом технологических особенностей каждого из них.

Так в работе [3] было установлено, что вибрационная обработка на частоте 150 Гц позволяет повысить сопротивляемость хрупкому разрушению по показателю ударной вязкости (KCV) металла шва сварного соединения из стали 09Г2С, полученного двухсторонней сваркой под флюсом, при температуре испытаний $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 104...114 % по сравнению с образцами, необработанными вибрацией в процессе сварки.

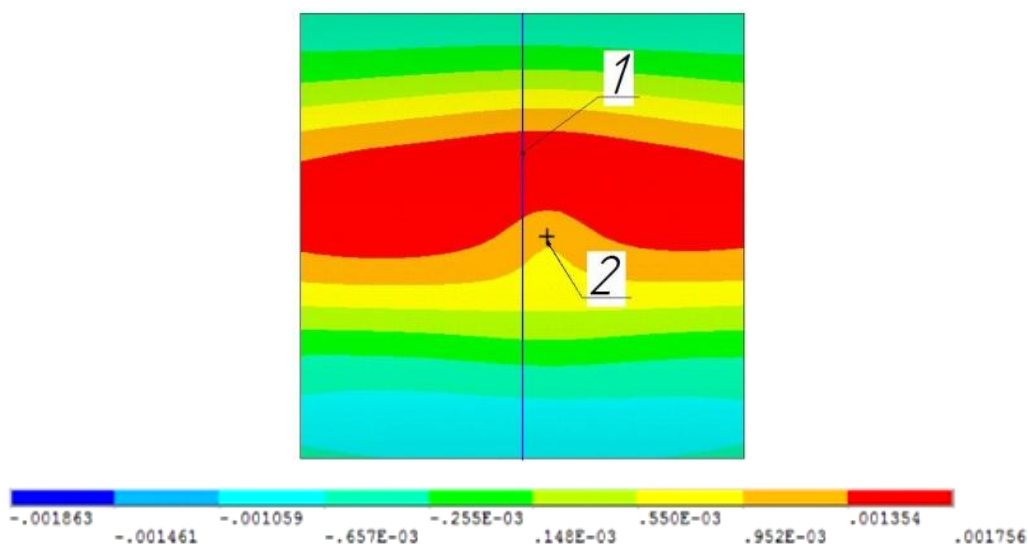
В работе [4] показана возможность повышения стойкости сварных соединений из коррозионностойкой аустенитной стали 12Х18Н10Т, полученных полуавтоматической сваркой в среде защитных газов, к межкристаллитной коррозии за счёт снижения уровня остаточных напряжений в сварных соединениях.

Несмотря на выявленные положительные эффекты вибрационной обработки, в качестве недостатка исследований можно выделить тот факт, что размеры экспериментально свариваемых образцов были значительно меньше реальных свариваемых изделий. Учитывая, что результаты вибрационной обработки находятся в прямой зависимости от распределения полей амплитуды вибрации по свариваемому изделию, актуальными вопросами являются: проведение частотного анализа свариваемой конструкции и оценка её напряженно-деформированного состояния с целью определения зоны ввода колебаний. В качестве объекта для проведения вышеназванных исследований был выбран аппарат, обозначаемый в соответствии с ГОСТ 9931-79 «Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов» - Г-Э-1-1-6,3-1,6,

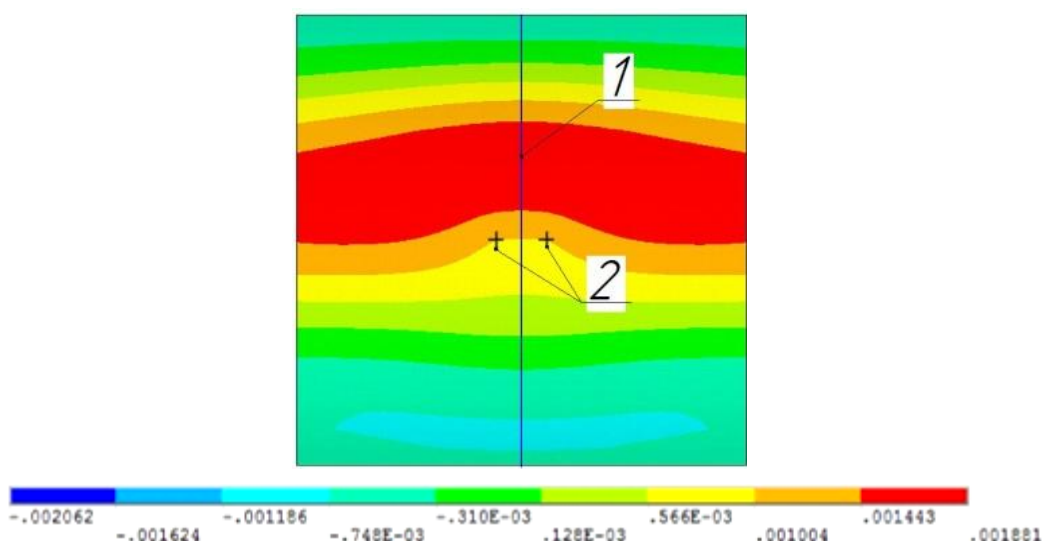
т.е. аппарат горизонтального типа с эллиптическим днищем без внутренних устройств.

Из опыта распределения остаточных напряжений и деформаций по ширине продольного и кольцевого сварного соединения цилиндрической обечайки видно, что оно имеет симметричный относительно продольной оси шва характер. Соответственно, с целью обеспечения одинакового по интенсивности воздействия на левую и правую часть сварного соединения, ввод колебаний целесообразно осуществлять от двух источников, расположенных симметрично относительно продольной оси шва на каждой из свариваемой кромок.

Как указывалось выше, эффективность и получаемый эффект вибрационной обработки существенным образом зависят от распределения поля амплитуды вибрации по сечению детали. Так в работе [2] установлено, что наложение на расплавленный и кристаллизующийся металл сварочной ванны колебаний амплитудой свыше 1 мм приводит к образованию пор в сварном шве, что существенно снижает его эксплуатационные характеристики. Поэтому, при разработке оснастки для ввода колебаний в свариваемое изделие цилиндрической формы, был проведен анализ влияния вибрационных колебаний частотой 150 Гц и амплитудой 1 мм, вводимых от одного источника, расположенного на одной из свариваемых кромок, и от двух источников, работающих в одной фазе, и расположенных симметрично относительно продольной оси сварного шва. Данная частота и амплитуда вибрации были выбраны исходя из данных, представленных в работе [3], как обеспечивающие наибольшую эффективность вибрационной обработки. Результаты анализа представлены на рисунке 1.



а) при использовании одного вибрационного устройства



б) при использовании двух вибрационных устройств

Рисунок 1. Поле амплитуды вибрации, м:

1 – продольная ось сварного шва, 2 – вибрационное устройство

Проведенный анализ подтвердил предположение о несимметричном распределении поля амплитуды вибрации относительно продольной оси сварного шва, что в реальной конструкции, например, корпусе аппарата вследствие разности механических свойств по ширине сварного шва и разного по интенсивности воздействия, может привести не только к повышению уровня остаточных напряжений первого рода, но и существенно снизить прочность корпуса аппарата в целом.

Из рисунка 1,б видно, что поле распределения амплитуды от двух источников вибрации, работающих в одной фазе, имеет симметричный характер. Также, на основе анализа распределения поля амплитуды вибрации по сечению обечайки можно сформулировать рекомендации по расположению вибрационных устройств относительно сварочной дуги, что позволит избежать воздействия на расплавленный металл вибрации амплитудой больше 1 мм (рисунок 2).

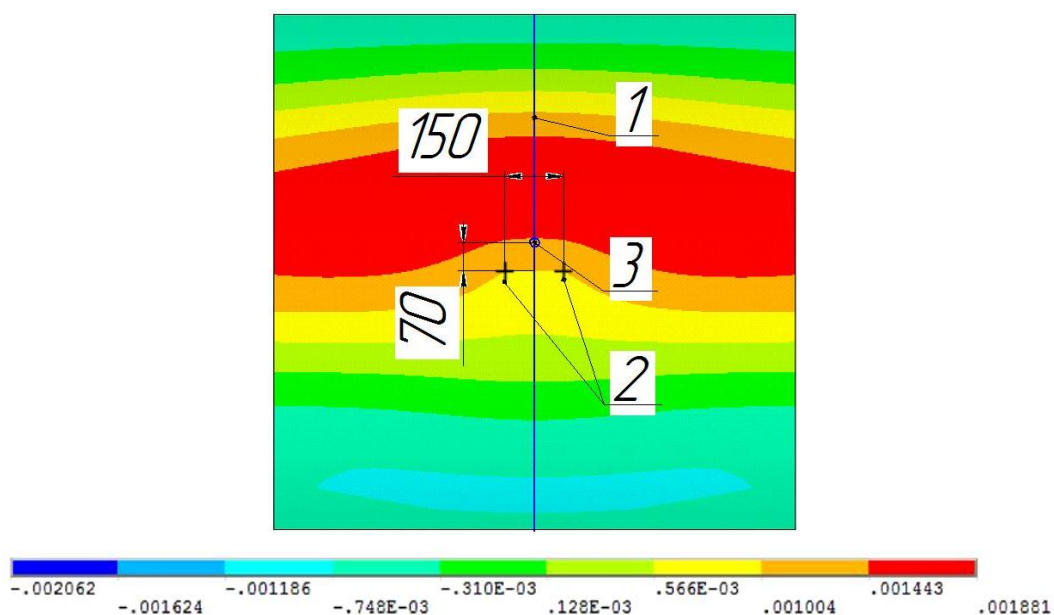


Рисунок 2. Определение оптимального расположения вибрационных устройств относительно сварочной дуги: 1 – продольная ось сварного шва, 2 – вибрационное устройство, 3 – место расположения сварочной дуги

Из рисунка 2 видно, что для воздействия на расплавленный металл сварочной ванны вибрационными колебаниями частотой 150 Гц и амплитудой от 0,8 до 1 мм при сварке обечаек диаметром 1600 мм, вибрационные устройства необходимо располагать в хвостовой части сварочной ванны на расстоянии 70 мм от сварочной дуги.

Также открытым вопросом при разработке технологии вибрационной обработки сварных корпусов аппаратов с учетом их значительных габаритов является определение собственной частоты колебаний в зависимости от длины заваренного участка шва и этапа технологического процесса сварки. Определение собственных частот колебаний проводилось для трех расчетных

случаев: сварка двух обечаек, приварка первого днища, приварка второго днища, при этом условия закрепления учитывали установку свариваемых деталей на роликовый вращатель. Общий вид моделей показан на рисунке 3.

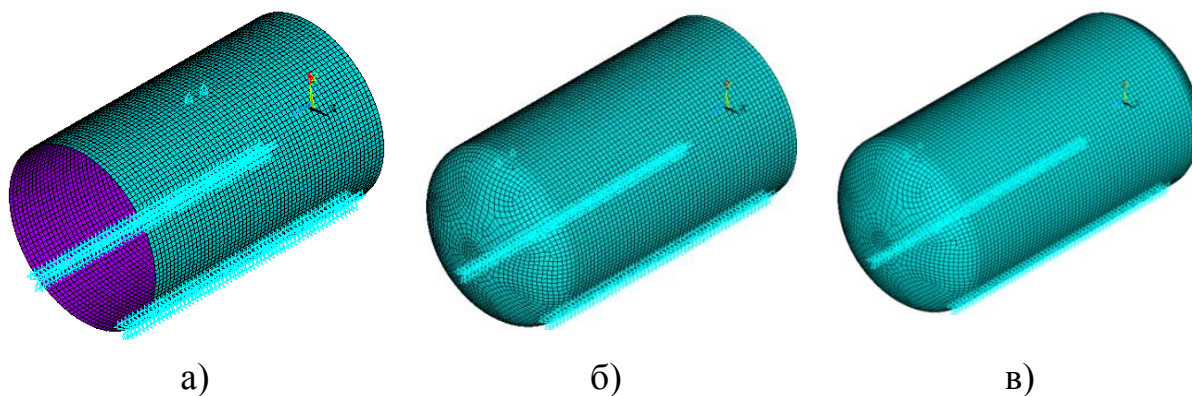


Рисунок 3. Геометрические модели свариваемых конструкций:
 а – сварка кольцевого стыка обечаек; б – приварка первого днища,
 в – приварка второго днища

Полученные распределения собственных частот (в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4), показаны на графиках ниже.

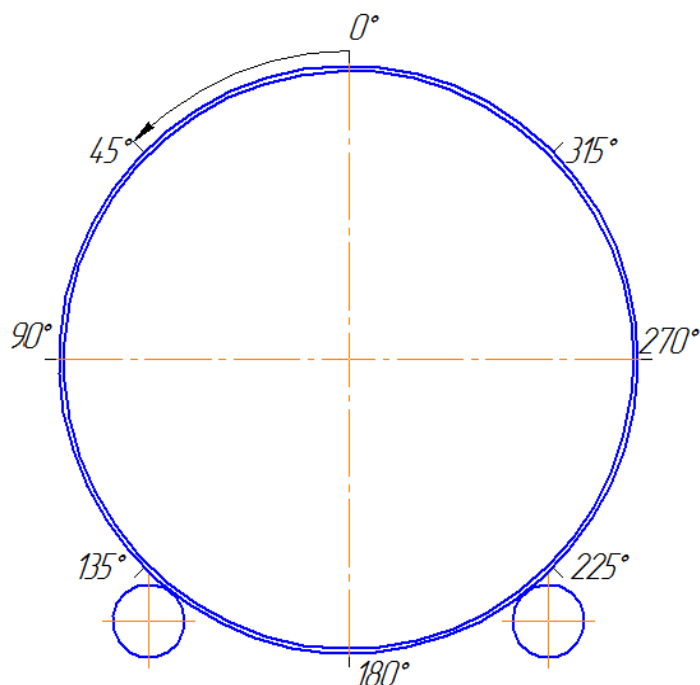
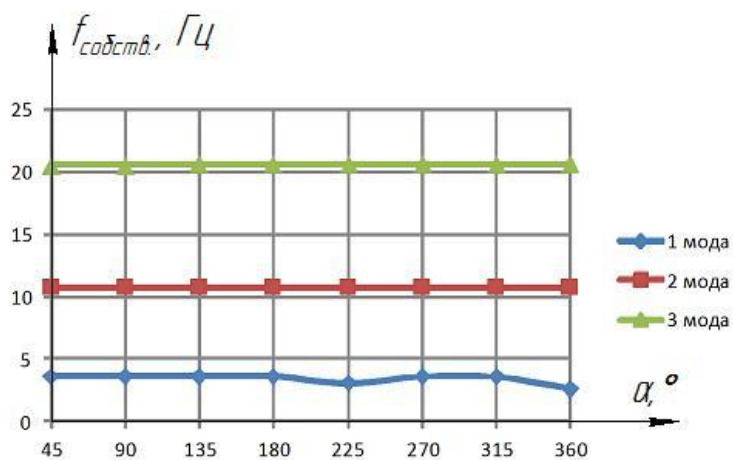


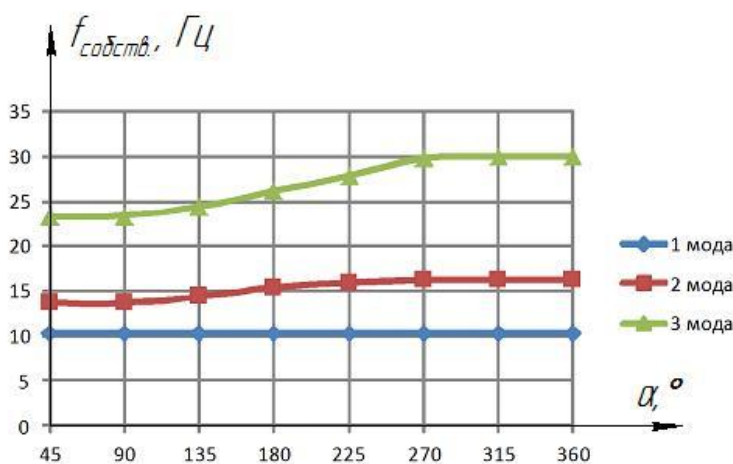
Рисунок 4. Схема определения собственных частот в зависимости от длины заваренного участка кольцевого стыкового шва

Изменение собственной частоты колебаний двух свариваемых обечаек с увеличением длины кольцевого стыкового шва представлено

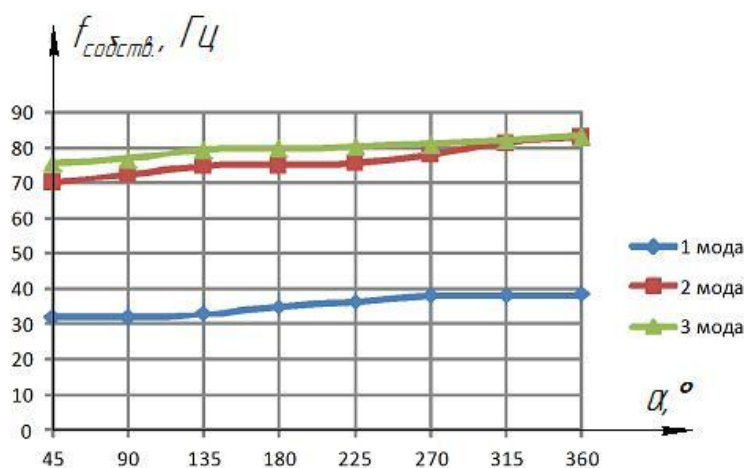
на рисунке 5, а, при приварке первого днища – на рисунке 5, б, при приварке второго днища – на рисунке 5, в.



а) при сварке двух обечаек



б) при приварке первого днища



в) при приварке второго днища

Рисунок 5. Зависимость собственной частоты колебаний от длины заваренного участка кольцевого стыкового шва

Из графиков на указанных выше рисунках видно, что с увеличением длины заваренного участка кольцевого шва собственная частота колебаний для трех первых мод при сварке двух обечайки практически не изменяется, а при приварке днищ, в результате изменения жесткости конструкции, собственная частота корпуса аппарата возрастает.

Далее было проведено моделирование влияния вибрационных колебаний, вводимых от двух вибрационных источников, работающих в одной фазе на частоте 150 Гц с амплитудой 1 мм и расположенных относительно зоны сварки в соответствии со схемой на рисунке 2. На рисунках 6 – 8 показаны распределения полей амплитуд колебаний при наложении вибрации на свариваемые детали в соответствии со схемами, представленными на рисунке 3, а-в.

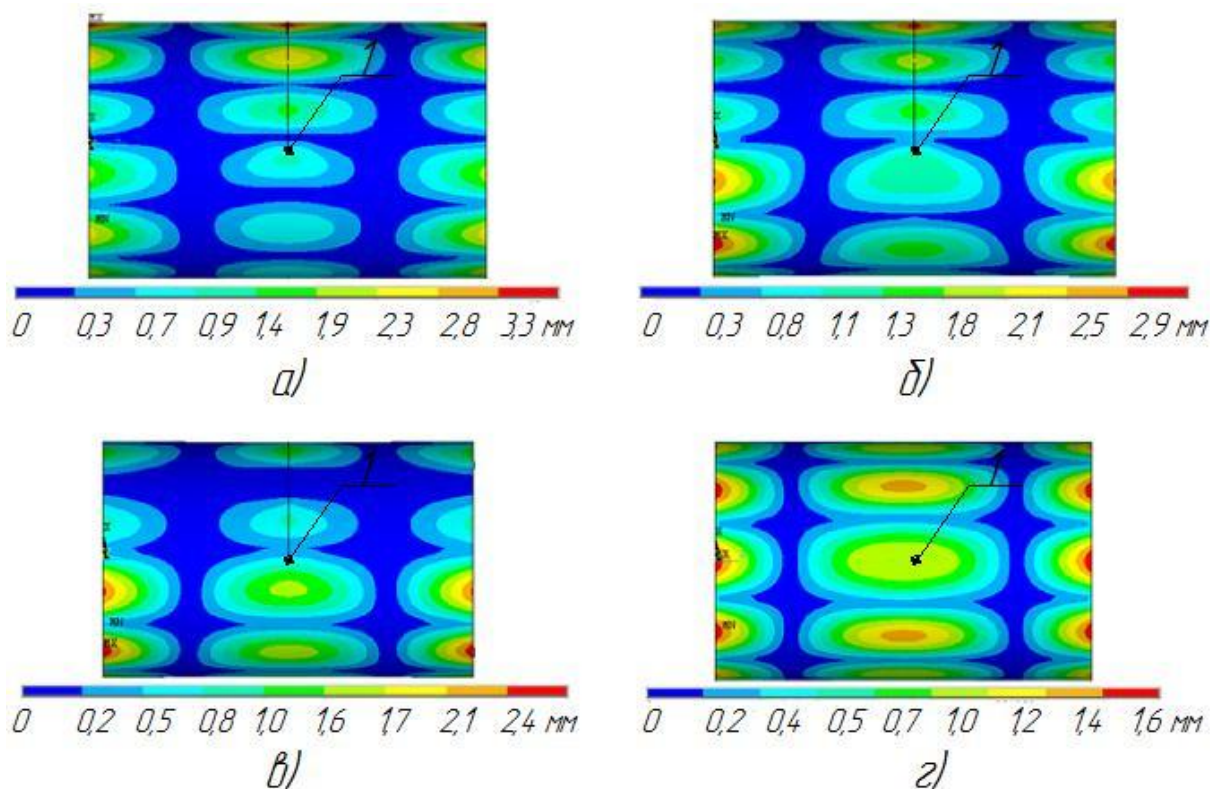


Рисунок 6. Распределение поля амплитуды вибрации по свариваемым обечайкам: а – сварено 25% от общей длины кольцевого шва; б – 50%; в – 75%; г – сварен весь шов; 1 – зона сварки

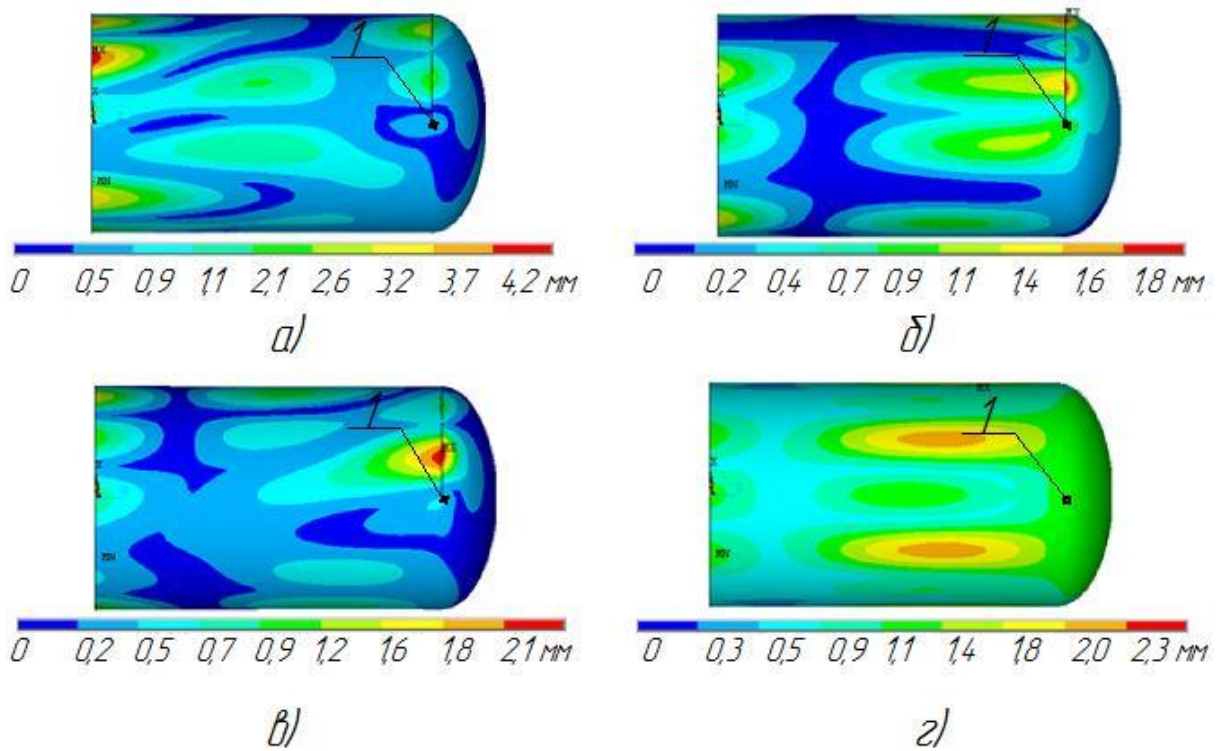


Рисунок 7. Распределение поля амплитуды вибрации при приварке к цилиндрическому корпусу первого днища: а – сварено 25% от общей длины кольцевого шва; б – 50%; в – 75%; г – сварен весь шов; 1 – зона сварки

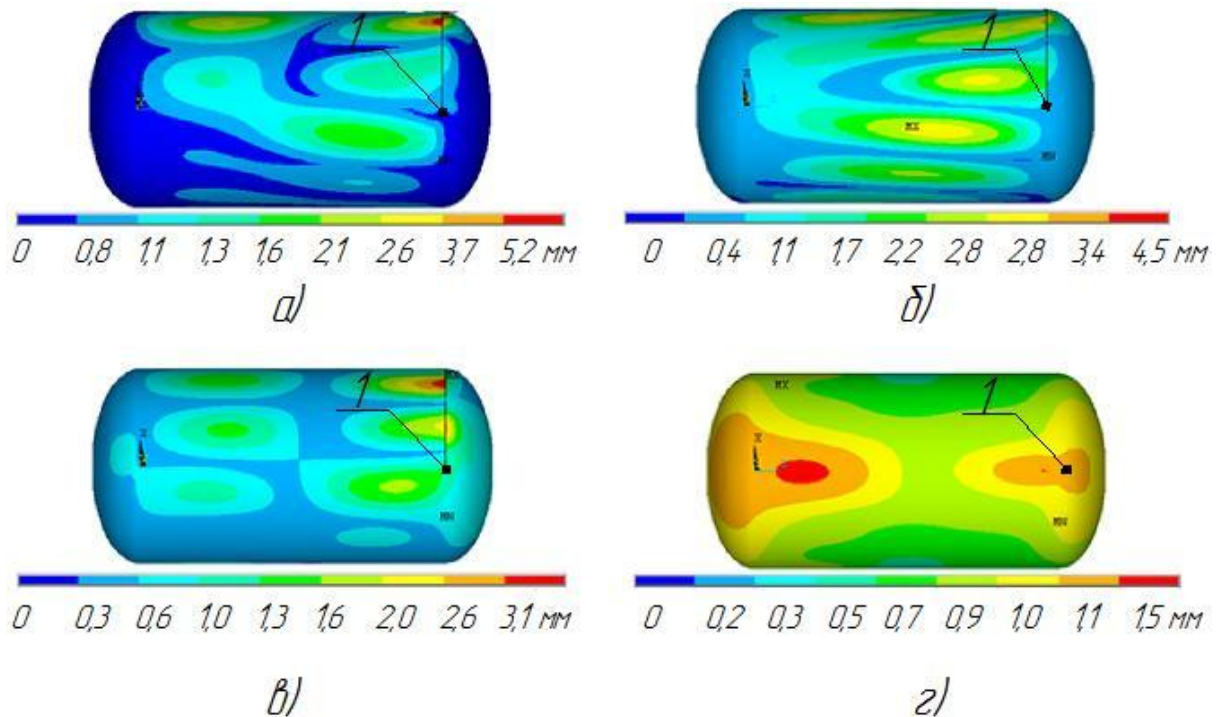


Рисунок 8. Распределение поля амплитуды вибрации при приварке к цилиндрическому корпусу второго днища: а – сварено 25% от общей длины кольцевого шва; б – 50%; в – 75%; г – сварен весь шов; 1 – зона сварки

Анализ полей амплитуды по поверхности деталей корпуса аппарата показывает, что в процессе локального ввода вибрационных колебаний от двух источников, работающих в одной фазе на частоте 150 Гц и амплитуде 1 мм, с изменением длины заваренного участка шва в зоне сварки не возникает вынужденных колебаний амплитудой больше 1 мм. С учетом того, что собственная частота колебаний деталей корпуса в зависимости от длины заваренного участка шва изменяется незначительно, а также в соответствии с графиками, представленными на рисунке 5, с первую по третью моду колебаний не превышает 90 Гц. Таким образом, можно предположить, что в процессе сварки корпуса аппарата с локальной вибрационной обработкой на частоте 150 Гц и амплитудой 1 мм не будет возникать резонансных явлений, оказывающих негативное воздействие на свойства металла шва.

На основании анализа полученных результатов была разработана оснастка для вибрационной обработки в процессе сварки под флюсом базовых элементов корпусов аппаратов. Общий вид оснастки представлен на рисунке 9 (получен патент на изобретение №2477202 С1 от 10.03.2013).

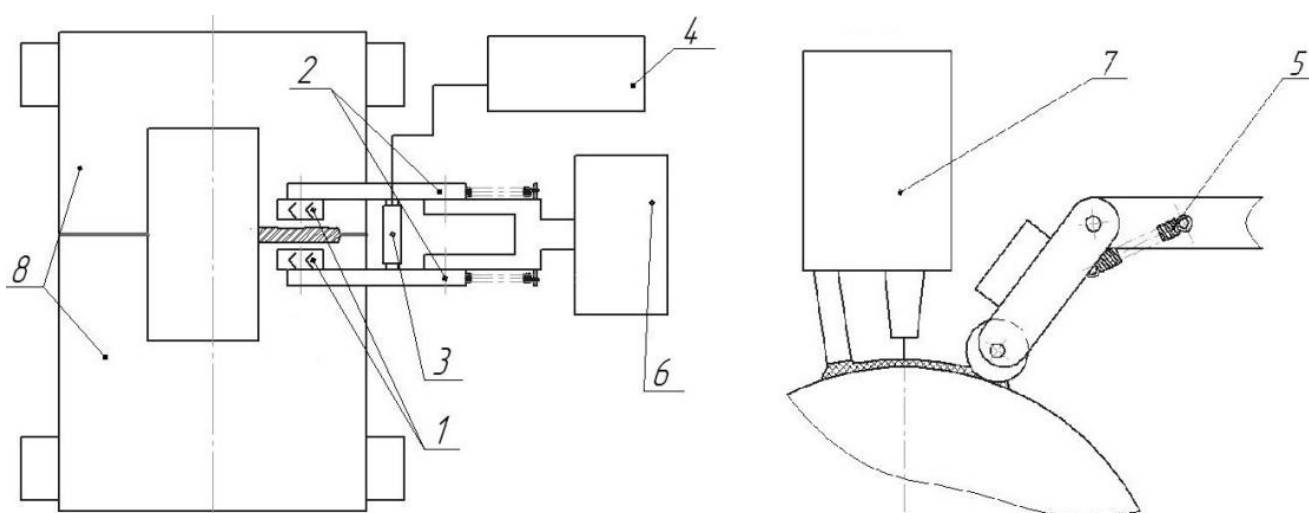


Рисунок 9. Общая схема технологической оснастки для ввода вибрационных колебаний в процессе сварки: 1 – ролики, 2 – инденторы, 3 – вибрационное устройство, 4 – источник энергии колебаний, 5 – прижимные пружины, 6 – механизм перемещения и фиксации оснастки, 7 – сварочная головка, 8 – свариваемые обечайки

Таким образом, проведенное численное моделирование позволило установить возможность применения вибрационной обработки в процессе сварки корпусов аппаратов оболочкового типа.

Выводы

1. Установлена возможность применения вибрационной обработки в процессе сварки деталей корпусов аппаратов оболочкового типа.

2. Получены зависимости частоты собственных колебаний корпуса аппарата диаметром 1600 мм от длины заваренного участка кольцевого стыкового шва в процессе приварки обечаек друг к другу, приварки первого и второго днища к цилиндрическому корпусу. Установлено, что собственная частота колебаний деталей корпуса в зависимости от длины заваренного участка кольцевого шва изменяется незначительно и для первых трех мод колебаний не превышает 90 Гц.

Список используемых источников

1 Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. М.: Металлургия, 1995. 272 с.

2 Модернизация технологии изготовления сварных корпусов аппаратов для нефтегазопереработки из низколегированных сталей / Д.В. Каретников, Р.Г. Ризванов, А.М. Файрушин, К.С. Колохов// Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. Т.4. С.156-162.

3 Повышение надежности сварного нефтегазового оборудования из низколегированных сталей, работающего в условиях значительного перепада температур / Д.В. Каретников, Р.Г. Ризванов, А.М. Файрушин, К.С. Колохов // Сварочное производство. 2012. Т. 6. С.40-48.

4 Файрушин А.М., Зарипов М.З., Каретников Д.В. Повышение стойкости к коррозии металла сварных соединений корпусов нефтеперерабатывающих и нефтехимических аппаратов// Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18, № 2. С.124 - 127.

5 Эльдарханов А. С. Процессы кристаллизации в поле упругих волн
М.: Интербук, 1996. 256 с.

References

1 Efimov V. A., Eldarhanov A. S. Fizicheskie metodyi vozdeystviya na protsessyi zatverdevaniya splavov. M.: Metallurgiya, 1995. 272 s. [in Russian].

2 Karetnikov D.V. Modernizatsiya tehnologi i izgotovleniya svarnyih korpusov apparatov dlya neftegazopererabotki iz nizkolegirovannyih staley / D.V. Karetnikov, R.G. Rizvanov, A.M. Fayrushin, K.S. Kolohov // Problemyi mashinostroeniya i avtomatizatsii. 2011. T.4. S. 156-162. [in Russian].

3 Karetnikov D.V. Povyishenie nadezhnosti svarnogo neftegazovogo oborudovaniya iz nizkolegirovannyih staley, rabotayuschego v usloviyah znachitelnogo perepada temperatur / D.V. Karetnikov, R.G. Rizvanov, A.M. Fayrushin, K.S. Kolohov // Svarochnoe proizvodstvo. 2012. T 6. S. 40-48. [in Russian].

4 Fayrushin, A.M. Povyishenie stoykosti k korrozii metalla svarnyih soedineniy korpusov nefteperabatyivayuschih i neftehimicheskikh apparatov / A.M. Fayrushin, M.Z. Zaripov, D.V. Karetnikov // Bashkirskiy himicheskii zhurnal. 2011. T. 18. № 2. S.124 - 127. [in Russian].

5 Eldarhanov, A. S. Protsessyi kristallizatsii v pole uprugih voln / A.S. Eldarhanov. M.: Interbuk, 1996. 256 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Ризванов Р.Г., д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

R.G. Rizvanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair, "Petroleum Apparatus Building Technology" FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Али К. Беним, профессор, д-р наук, профессор института машиностроения и технологических процессов, директор центра моделирования потоков, Университет прикладных наук, г. Дюссельдорф, Германия

Ali Cemal Benim, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Head of Center of Flow Simulation (CFS), Faculty of Mechanical and Process Engineering, Dusseldorf University of Applied Sciences, Dusseldorf, Germany

Файрушин А.М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A.M. Fairushin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Petroleum Apparatus Building Technology”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Каретников Д.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

D.V. Karetnikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Petroleum Apparatus Building Technology” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: tna_ugntu@mail.ru

Хафизова О.Ф., канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроения, ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

O.F. Khafizova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair Mechanical Engineering, FSBEI HPE “National Mineral Resources University (Mining University)”, Saint Petersburg, the Russian Federation