

Ш 86 Л 6
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РФ ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени Государственный технический
университет им. М.Э. Баумана

На правах рукописи

НАСИРОВ Галимур Хазимурович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
И РАЗМЕРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БАЛОЧНОГО
ТИПА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ
НАПРЯЖЕНИЙ ВИБРАЦИЕЙ

05.08.06 - Технологии и машины сварочного
производства

Автореферат
диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических
наук



Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель - д.т.н., профессор Сагалевич В.М.
Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Макаров Г.И.
к.т.н., доцент Прохоров В.Н.
Ведущее предприятие - ЦКБ "Титан" (г. Волгоград)

Защита состоится 40 09 1992г. на заседании
специализированного совета КОСЗ.15.03 в Московском ордена
Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного
Знамени государственном техническом университете имени Н.Э.Баума-
на по адресу: 107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экз., заверенный печатью,
просим прислать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени
Н.Э.Баумана.

Желающие прис-
известить Совет и
председателя Сове

Автореферат

УЧЁНЫЙ СЕ
специализирован
д.т.н., до

Подписано к печати
Заказ №

11867/6

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1986 2/16

Актуальность проблемы. Изготовление сварных балочных конструкций сопровождается образованием остаточных напряжений и деформаций. Наличие остаточных напряжений и деформаций усложняет последующую сборку конструкций, снижает надежность, эксплуатационные характеристики большинства ответственных сварных соединений, приводит к разрывной неустойчивости узлов. Имеется много различных способов снижения остаточных напряжений и уменьшения деформаций: прокатка, проковка сварных швов, общая и местная термообработка и др., каждый из которых имеет ограниченную область применения. Основными недостатками их является большая трудоемкость, громоздкость оборудования, высокая себестоимость операций, невозможность проведения обработки крупногабаритных изделий. Для снижения остаточных напряжений в различных сварных конструкциях зачастую вместо термообработки используется энергия вибрационных колебаний.

Вибрационное воздействие позволяет одновременно влиять на остаточные напряжения и деформации, снижает материально-энергетические затраты, сокращает время обработки. Данная работа посвящена разработке и изучению процесса вибрационной обработки сварных балочных конструкций из высокопрочных, закалывающихся среднеуглеродистых, легированных сталей (на примере сталей 07ХЗГНМФА и Г 12НВФА), а также определению влияния вибрации на механические характеристики сварных соединений из легированных сталей.

Цель работы. Разработка научно-обоснованных технологических рекомендаций по снижению остаточных напряжений сварных крупногабаритных балочных конструкций из легированных, высокопрочных сталей виброобработкой, создание системы контроля снижения остаточных напряжений на основе определения закономерностей протекания процесса вибрационной обработки.

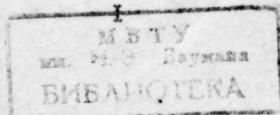
Методы исследования включали экспериментально-теоретические методы определения параметров вибрационной обработки с применением виброизмерительной аппаратуры В. 3-5МАД в комплексе со светолучевым осциллографом Н-145, самопишущим прибором НЗ030-1 и вис. комплексом Б.СР 200. Текущие значения напряжений определяли при помощи метода тензометрии. Исследование полей остаточных напряжений до и после обработки осуществля-

НТБ МТУ им. Н.Э. Баумана



1086716

Насыров Г.Х. Разработка и



лось с использованием средств электротензометрии и магнитоупругости (прибор ИНИ-ИЦ). Механические характеристики определялись по стандартным методикам в соответствии с ГОСТами на испытание. Теоретические исследования проводились с использованием теории упругопластических колебаний, энергетического метода Релея и теории сварочных напряжений и деформаций.

Научная новизна:

1. Для снижения остаточных напряжений в сварных крупногабаритных балочных конструкциях из высокопрочных сталей вместо термообработки, где она трудно осуществима, можно эффективно применять вибрационную обработку. Колебания необходимо возбуждать в различных плоскостях, в плоскости действия максимальных остаточных напряжений и использовать различные формы моногармонических колебаний. Установлено влияние моногармонических колебаний на степень снижения остаточных напряжений и механические свойства сварного соединения для сталей 07ХЗГНМФА и 12Х2НВФА. Максимальное снижение остаточных напряжений (до 70%), повышение прочности σ_B (12%) и ударной вязкости KCU (10%) происходит после обработки на I резонансной частоте. Твердость сварного шва снижается на 7...10% после обработки на 3 резонансной частоте. Наибольшее изменение механических характеристик происходит после последовательной обработки на I и 3 резонансных частотах.

2. Количественно оценено влияние остаточных сварочных напряжений на частоту собственных колебаний в балочных конструкциях из высокопрочных сталей. Величина смещения резонансной зоны в процессе вибрационной обработки зависит от упругих свойств материала, зоны пластических деформаций, величины остаточных напряжений, жесткости изделия и для реальных конструкций из высокопрочных сталей 07ХЗГНМФА и 12Х2НВФА составляет 10...12 Гц. Смещение резонансной зоны в процессе виброобработки обуславливается уменьшением уровня остаточных напряжений и составляет для реальных изделий 7...9 Гц, при относительно снижении остаточных напряжений на 60...70%.

Практическая ценность. Разработаны и внедрены в производство технология и общие методические рекомендации по вибрационной обработке сварных конструкций. Разработан инженерный метод расчета частот свободных колебаний вибрационной системы с учетом внутренних напряжений. Результаты работы в полном объеме внедрены на предприятии "Баррикада" с годовым экономическим эффектом 100 тыс. руб. Частичные результаты работы использованы

при создании банка данных "Технологические свойства сварного соединения" и внедрены в НИИ ЦИМБВ.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1991г., на международной конференции "Сварные конструкции" (Киев, 1990г.) и на научно-практической конференции сварщиков Средней Азии и Казахстана в 1991г. (Караганда, 1991г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 3 таблицы и 135 наименований литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной работы, ее цель, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна. В первой главе дан анализ состояния вопроса и поставлены задачи исследования.

Общезвестно негативное влияние остаточных напряжений на качество сварных конструкций. К ним относится снижение прочности, размерная нестабильность, повышенная склонность к коррозионному растрескиванию и др. Проблема снижения остаточных сварочных напряжений в конструкциях балочного типа, широко распространенных в машиностроении и других отраслях промышленности, использование известных методов сопряжено со значительными материально-энергетическими трудностями. Широко применяемые методы (термообработка, обкатка, проковка, метод активных сил и др.), разработанные и исследованные в работах советских ученых Николаева Г.А., Винокурова В.А., Куркина С.А., Сагалевича В.М., Бершинского А.В., Каземирова А.А., Золотарева Б.Б., Недосеки А.Я. др. требуют громоздкого оборудования, значительных капитальных затрат и дополнительных производственных площадей, что снижает рентабельность производства.

Одним из способов снижения остаточных напряжений, который по эффективности не уступает другим, является виброобработка. Влияние вибрационной обработки на остаточные напряжения рассматривали в своих работах отечественные ученые Сагалевич В.М., Недосека А.Я., Грузд А.А., Савельев В.Ф., Зубченко О.И. и зарубежные исследователи Келсо Т., Клякстон Р., Вондей Д. и др.

Из анализа результатов исследований различных авторов ... сделан вывод о необходимости и целесообразности проведения работ по созданию и совершенствованию вибрационного метода обработки балочных конструкций, направленных на дальнейшее изучение влияния: различных схем крепления на снижения остаточных напряжений; различных резонансных частот на степень снижения остаточных напряжений и на механические свойства сварного соединения; остаточных напряжений на частоту свободных колебаний, ... исследования механизма, описывающего кинетику образования пластических деформаций и снижения остаточных напряжений на второй стадии обработки. Для достижения наилучших результатов виброобработка должна осуществляться на резонансных режимах.

Для решения поставленной проблемы необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие и выбрать приемлемый метод снижения остаточных напряжений в сварных, крупногабаритных балочных конструкциях.
2. Экспериментально исследовать воздействие вибрационной обработки на снижение остаточных напряжений и механические характеристики на сварных образцах.
3. Выбрать рациональные схемы крепления конструкций и определить режимы и параметры виброобработки.
4. Исследовать влияние моногармонических колебаний на эффективность виброобработки.
5. Изучить влияние внутренних напряжений на частоту собственных колебаний балок при одноосном напряженном состоянии.
6. Проанализировать результаты воздействия вибрационного нагружения на сварное соединение.
7. Разработать технологические рекомендации по вибрационной обработке сварных балочных конструкций.

Во второй главе дана краткая характеристика исследуемой стали, описаны методики: проведения экспериментов; измерения остаточных напряжений; параметров вибрации; определения изгибных напряжений. Для экспериментального исследования процесса виброобработки сварных балочных конструкций с целью снижения остаточных напряжений были приняты образцы различной жесткости уголкового, П-образного и двутаврового профиля, из-

готовавляемые из листового материала (сталь 07ХЗГНММА и 12Х2Н¹4А), поля остаточных напряжений и деформаций, в которых близки к полям напряжений и деформаций в реальных сварных конструкциях.

Анализ схем крепления показал, что наиболее с благоприятными для обработки балочных конструкций являются: а) балка шарнирно опертая по концам и б) шарнирно опертая в средней части одним из концов, другой конец свободен. Измерения остаточных напряжений производили двумя способами при помощи тензострип и магнитоупругости прибором ИНИ-ИЦ. Максимальная величина остаточных напряжений в балках после сварки составляла:

для стали 12Х2Н¹4А - 380 МПа;

для стали 07ХЗГНММА - 330 МПа.

В работе приведены сравнения измерений уровня остаточных напряжений двумя методами. Исследования показали хорошую сходимость результатов, что позволило рекомендовать магнитоупругий метод для измерения остаточных напряжений в промышленности. Наибольшее расхождение результатов происходило в зоне сварного шва, что объясняется изменением физических свойств отожжённого металла, разброс данных составляет не более 5...10%.

Обработку сварных балок производили виброкамплексом ВКСР 200, с плавной регулировкой частоты колебаний от 16 до 200 Гц. Параметры вибрации в процессе обработки определяли с помощью вибродиагностической аппаратуры ВМ6-5МАД с записью на осциллограф И-145 и самопишущий прибор ИЗОСО-1. Такие же значения вынужденных напряжений определяли при помощи тензострип с записью на выписывающие приборы. Оценка эффективности виброакустической обработки на различных режимах осуществлялась сравнительным анализом уровня остаточных напряжений до и после обработки. Обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с ГОСТами на обработку результатов и заключалась в определении минимального количества образцов на каждую точку в статическом анализе полученной информации.

В третьей главе приведены схемы крепления балок при виброакустической обработке, выполнен расчёт частот собственных колебаний; создана программа для расчёта параметров виброобработки в резонансе на ЦЭМ; приведен инженерный метод определения частот свободных колебаний с учётом внутренних напряжений для одноосного напряжённого состояния.

В результате исследования схем крепления показано, что сварная балочная конструкция с закрепленным на ней вибровозбудителем может быть сведена к колебательной системе с распределенными параметрами и периодически возмущающей силой.

Для выбранных схем крепления были определены частоты свободных колебаний приложенным от собою

$$\omega^2 = \frac{2\Pi}{M} \quad (1)$$

где: ω — частота собственных колебаний;
 Π — полная потенциальная энергия системы;
 M — обобщенная масса системы.

В работе представлен анализ энергетических изменений, происходящий в напряженной балке, во время вибрации. В процессе вибрационной обработки, действие статической, динамической нагрузки, инерциальных сил, в совокупности с ост. точными напряжениями приводят к образованию в балке пластических деформаций, за счёт которых и происходит снижение остаточных напряжений. Это влечёт за собой изменение полной потенциальной энергии системы. Суммарная потенциальная энергия упругих и пластических деформаций системы после аппроксимации первой формы изгибных колебаний в виде полуволны синусоиды будет

$$\Pi = \int_0^L \frac{M^2(z) \cdot dz}{2[E \cdot J(z)]} + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \cdot y_0 \int_0^L [E \cdot J(z)] \cdot \sin^2\left(\frac{\pi z}{L}\right) dz + G \cdot \delta \cdot \int_0^L [\varepsilon_x(z) \cdot L \cdot h - h_T(z)] \cdot dz \quad (2)$$

где: $M(z)$ — суммарный изгибающий момент, действующий на балку;

L, h — длина и высота зон пластических деформаций;
 h — высота балки; δ — толщина материала балки;
 ε_x — величины пластических деформаций, возникающих в результате совместного действия остаточных и внешних напряжений.

Формула (2) показывает, что чем выше будут суммарные напряжения, а следовательно и суммарные пластические деформации изгиба, возникающие в балке, тем больше будет изменяться полная потенциальная энергия системы и тем интенсивнее будет снижение остаточных напряжений и деформаций. Из анализа схем закрепле-

ния видно, что максимум внешних напряжений при одинаковых внешних нагрузках будет при обработке по схемам:

а) балка шарнирно опертая по концам;

б) балка шарнирно опертая в средней части и одним из концов, другой конец свободен.

В работах Рагульскиса К.М., Стульпинаса Б.Б., Гудониса И.Б. и др. было отмечено изменение частоты собственных колебаний изделия в процессе вибрационной обработки. Причём это изменение происходило в сторону снижения и достигало порядка 6...8 Гц. Эксперименты по виброобработке сварных балок показали, что смещение резонансной зоны происходит только при изменении напряжённого состояния конструкции. После стабилизации остаточных напряжений частота собственных колебаний стабилизируется. Формула (2) позволяет произвести расчёт энергетических изменений при колебаниях балки и с ее помощью определить низшую частоту свободных колебаний, и при этом возникнут трудности с определением зон пластических деформаций и требуется численное решение, которое реализуется на ЭВМ. Задача состояла в том, чтобы оценить степень влияния остаточных напряжений на частоту собственных колебаний и создать инженерный метод расчёта частот свободных колебаний с учётом внутренних напряжений.

Для оценки влияния остаточных сварочных напряжений на величину смещения резонансной зоны исходили из предположения, что имеется материал, соответствующий свойствам идеального упругого тела. Балка под действием остаточных напряжений находится в термодинамическом равновесии и имеет некоторый прогиб и укорочение. Исходя из определения потенциальной энергии, как работы, которую совершат все действующие силы, если система перейдет из реальной конфигурации в некоторую основную, частота собственных колебаний напряжённой конструкции будет:

$$\omega^2 = \frac{2 \cdot (\Pi + \Pi_p)}{M} \quad (3)$$

$$\Pi = \int_0^l \frac{M^2}{2 \cdot E \cdot J} dz + \frac{1}{2} \int_0^l E \cdot \gamma \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \cdot dz \quad (4)$$

$$\Pi_p = P \cdot \frac{1}{2} \cdot \int_0^l \left(\frac{du}{dz} \right)^2 dz \quad (5)$$

где: Π_p - увеличение потенциала силы P при амплитудных

отклонениях балки.

С учетом выражений (3), (4), (5) частота собственных колебаний напряженной системы будет:

$$\omega_H^2 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J \cdot (\pi^2 \cdot E \cdot J + P(\sigma) \cdot l^2) + 2M(\sigma) \cdot l^4}{E \cdot J \cdot l^4 \cdot m_0} \quad (6)$$

где: m_0 — масса единицы длины балки.

Усилие P и момент M с некоторой погрешностью можно определить по формуле

$$P(\sigma) = P_{yc} \cdot \frac{F_p}{F} \quad (7)$$

$$\frac{\sigma(\sigma)}{F_p} < \sigma_T, \quad M = P_{yc} \cdot e \quad (8)$$

где: P_{yc} — фиктивная усадочная сила;
 F_p/F — коэффициент, учитывающий площадь действия растягивающих напряжений;
 F_p — площадь растянутых частей;
 F — площадь поперечного сечения;
 e — эксцентриситет приложения силы

Если $P_p = F$, то формула (6) с учетом выражения (7) трансформируется в формулу, учитывающую действие продольной внешней растягивающей силы и не противоречит выводам, полученным в работах Тимошенко С.П., Янга Д.Х., Уивера У. Зная величину смещения резонансной зоны ω_{cm} , вызванную сварочными напряжениями и величину смещения резонансной зоны, полученную в процессе обработки $\omega_{cm}^{об}$ можно оценить степень снижения остаточных напряжений:

$$\sigma_{cm} \% = \frac{\omega_{cm}^{об}}{\omega_{cm}} \cdot 100 \% \quad (9)$$

Таким образом, изменение частоты собственных колебаний изделия в процессе виброобработки происходит только под действием изменения энергетического состояния конструкции, которое обуславливается уменьшением запоры остаточных напряжений. По изменению частоты собственных колебаний в процессе обработки можно контролировать процесс снижения остаточных напряжений, а по величине смещения резонансной зоны оценивать эффективность виброобработки.

В четвертой главе приведены экспериментальные данные по снижению остаточных напряжений в балочных конструкциях в результате вибрационного воздействия; представлены экспериментальные исследования влияния остаточных напряжений на частоту собственных колебаний, результаты воздействия моногармонических колебаний на степень снижения остаточных напряжений и на механические свойства сварного соединения; объяснен процесс, происходящий при вибрационном воздействии на материал, в околошовной зоне; даны рекомендации по промышленному применению разработанного метода обработки сварных балочных конструкций.

Экспериментальные исследования вибрационного метода обработки сварных балочных конструкций позволили установить влияние энергии вибрационных колебаний на величину остаточных напряжений. Проведенный эксперимент позволил экспериментальным путем определить диапазон оптимальных дополнительных нагрузок. Для повышения эффективности процесса виброобработки используется дополнительная инерционная масса, которая может устанавливаться вместе с вибровозбудителем или на изделии, исходя из схемы обработки. Величина массы дополнительного груза должна быть достаточна для протекания макропластических деформаций в процессе колебаний. Использование дополнительной инерционной массы увеличивает зону пластических деформаций, что особенно позитивно отражается на распределении остаточных напряжений по длине балки.

Исследование влияния моногармонических колебаний на степень снижения остаточных напряжений и механические свойства сварного соединения показывают:

- максимальное снижение остаточных напряжений после обработки на одной из резонансных частот или в любой комбинации происходит после обработки на первой резонансной частоте, имеющей максимальную амплитуду виброперемещений, достигает 70%;
- последовательная обработка на первой и второй резонансной частоте значительно улучшает распределение остаточных напряжений по длине и сравнима с виброобработкой с дополнительным грузом. Результаты исследований моногармонических колебаний на механические характеристики показывают, что максимальное изменение прочности и ударной вязкости (КСУ) происходит на первой резонансной частоте, микротвердости зоны сварного шва - на третьей. Прочность и ударная вязкость в среднем повышается на

10...15%, микротвердость сварного шва понижается на 7...12%. Наибольшее изменение исследуемых механических характеристик происходит после последовательной обработки на первой и третьей резонансной частоте. Прочность и ударная вязкость повышается на 15...20%, микротвердость шва понижается на 12...15%.

Экспериментальные исследования влияния сварочных напряжений на частоту собственных колебаний показывают, что в процессе виброобработки происходит смещение резонансной зоны в сторону снижения в среднем на 6...8 Гц. Максимальное смещение резонансной зоны происходит в тех случаях, где происходит наибольшее снижение остаточных напряжений. Полученные в работе результаты экспериментальных исследований влияния остаточных напряжений на частоту собственных колебаний для балок различных типов сечений подтверждают теоретические выводы, полученные в работе. Интенсивное смещение резонансной зоны происходит при первых циклах нагружения, аналогично снижению остаточных напряжений и зависит от величины внешних напряжений (рис.1).

Полученные при проведении экспериментальных и теоретических исследований результаты и разработанный математический аппарат для описания вибрационного воздействия на остаточные напряжения могут быть успешно применены для определения режимов обработки сварных балочных конструкций с целью снижения остаточных напряжений.

На основании экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в работе, разработана методика вибрационной обработки, в основе которой лежит явление смещения резонансной зоны. Обработка ведется на постоянной частоте вибровозбудителя, начинается не в режиме резонанса, а постепенно входит в него по мере снижения остаточных напряжений и смещения резонансной зоны. Контроль за процессом осуществляется по увеличению амплитуды колебаний, а окончание по стабилизации частоты собственных колебаний (рис.2). Величина снижения остаточных напряжений оценивается по величине смещения резонансной зоны. При этом в процессе обработки достигается постоянная величина суммарных максимальных напряжений. Обработка по предложенной методике включает разрушение конструкции в начальный момент обработки, когда суммарные напряжения могут превышать критические значения.

В работе проведено сравнение результатов снижения остаточных напряжений после виброобработки сварных балок по предложенной методике и по методикам, широко применяемым в промышленности. Разработанная методика позволила повысить эффективность процесса в среднем на 10...15%, снизить время воздействия максимальных внешних нагрузок на материал. Разработаны общие технические рекомендации по промышленному применению метода вибрационной обработки сварных балочных конструкций.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Анализ современного состояния вопроса по методам устранения сварочных напряжений позволил установить, что наиболее оптимальным с точки зрения эффективности и экономии, способом устранения сварочных напряжений в сварных балочных конструкциях является способ, основанный на использовании энергии вибрационных колебаний. Показано, что для повышения эффективности вибрационной обработки необходимо использовать дополнительную инерционную массу или производить обработку при различных формах монотармонических колебаний.

2. Проведенными исследованиями установлено, что виброобработка снижает остаточные сварочные напряжения первого рода в сварных балках из сталей 07ХЗГНМ 1 и 12Х2НВФ4 на 65...70% от первоначального уровня, повышает прочность и ударную вязкость на 15...20%, а также увеличивает пластичность сварного шва при выполнении следующих условий: знакопеременная вынуждающая сила, создаваемая вибровозбудителем, должна прикладываться в зонах конструкции, имеющих максимальную изгибную деформацию; для увеличения воздействия колебаний на изделие необходимо применение упругих опор.

3. Исследование влияния монотармонических колебаний на эффективность виброобработки показывает, что наибольший эффект снижения сварочных напряжений происходит при максимальных амплитудах вибрационных колебаний балки. Относительное снижение остаточных напряжений первого рода при виброобработке на одной из гармоник составляет:

- на первой резонансной частоте 60...70%;
- на второй резонансной частоте 40...50%;
- на третьей резонансной частоте 20...30%.

СНИЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОСЛЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ

обработки на различных резонансных частотах, а также в их комбинации не превышает снижения остаточных напряжений после обработки на первой резонансной частоте. Последовательная обработка на первой и второй резонансной частоте, а также с дополнительной массой улучшает распределение напряжений по длине балки.

4. Под действием вибрационной нагрузки и инерциальных изгибных сил в балке происходит образование пластических деформаций, которые приводят к упругопластическим деформациям. При этом в течение одного периода колебаний меняются упругие, а следовательно, и жесткостные характеристики по длине сварной балки, что приводит к снижению частоты свободных колебаний вибрационной системы, вследствие уменьшения полной потенциальной энергии системы. Появление устойчивых упругих колебаний и стабилизация частот собственных колебаний свидетельствует о стабилизации внутренних напряжений. Сдвиг резонансной зоны в процессе виброобработки зависит от величины снижения сварочных напряжений и достигает 7...9 Гц, при относительном снижении остаточных напряжений на 70%.

5. В результате расчетно-экспериментальных исследований, выполненных при изучении вибрационного метода обработки сварных балочных конструкций с целью снижения остаточных напряжений разработана физико-математическая модель колебаний сварной балки при наличии остаточных напряжений с рассмотрением процесса колебаний с энергетических позиций. Показано, что полная потенциальная энергия колеблющейся системы может быть определена как сумма энергии упругих колебаний балки и энергии статически деформированной балки под действием остаточных напряжений. Получено выражение для определения полной потенциальной энергии колеблющейся системы, которое служит для вычисления частот свободных колебаний вибрационной системы и определены для него граничные условия.

6. Исследование влияния моногармонических колебаний на механические свойства сварного соединения из сталей 07Х3Н1МД и 12Х2Н4ФА показывает, что максимальное повышение прочности и ударной вязкости (ХВ) после обработки на одной из резонансных частот происходит после обработки на первой резонансной частоте и составляет 10...12%, а твердость сварного шва максимально

снижается на 7...10% после обработки на третьей резонансной частоте. Наибольшее изменение механических свойств происходит после последовательной обработки на первой и третьей резонансной частоте. Прочность и ударная вязкость повышается в среднем на 15...20%, твердость БТВ снижается до 12%.

7. На основании проведенных исследований разработана методика и общие технические рекомендации по ультразвуковой обработке сварных конструкций балочного и рамного типов, в основе которой лежит явление смещения резонансной линии. Размерная точность виброобработанных элементов конструкций в процессе дальнейшего изготовления и эксплуатации отвечает повышенным требованиям предъявляемым к изделиям. В полном объеме результаты работы внедрены на заводе "Баррикады" (г.Волгоград) с годовым экономическим эффектом в 100 тыс.руб. Частичные результаты исследований влияния виброобработки на механические свойства сварного соединения использовались при создании банка данных и внедрены в НИИ ЦМППВ (г.Москва).

Основное содержание работы отражено в следующих работах:

1. Сагалевич В.М., Насыров Г.Х., Рожков Г.Б. Виброобработка конструкций балочного и рамного типов из сталей 07ХЗГНМФА и 12Х2НВФА с целью снижения остаточных напряжений // Сварные конструкции: тезисы докладов международной конференции. - Киев, 1990. - С.97-99.

2. Сагалевич В.М., Насыров Г.Х. Снижение сварочных напряжений виброобработкой // Моделирование и разработка машин и систем машин: сб. научных трудов Карагандинского политехнического института. - Караганда, 1990. - С.77-80.

3. Насыров Г.Х. Влияние сварочных напряжений на частоту собственных колебаний конструкций // Моделирование и разработка машин и систем машин: сб. научных трудов Карагандинского политехнического института. - Караганда, 1990. - С.81-84.

4. Насыров Г.Х., Альтер И.М. Применение вибрационной обработки для стабилизации деформированного состояния сварных конструкций // I-я научно-практическая конференция сварщиков Средней Азии и Казахстана: тез. докл. - Караганда, 1991. - С.28-29.

5. Насыров Г.Х., Сагалевич В.М. Влияние остаточных напряжений на собственную частоту колебаний // I-я научно-практическая конференция сварщиков Средней Азии и Казахстана: тез. докл. - Караганда, 1991. - С.30-31.

6. Сагалевиц В.М., Часыров Г.Х. Влияние вибрации на остаточные напряжения и механические свойства сварного соединения
// Сварные конструкции: Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции.- Тверь, 1991. - С.42.

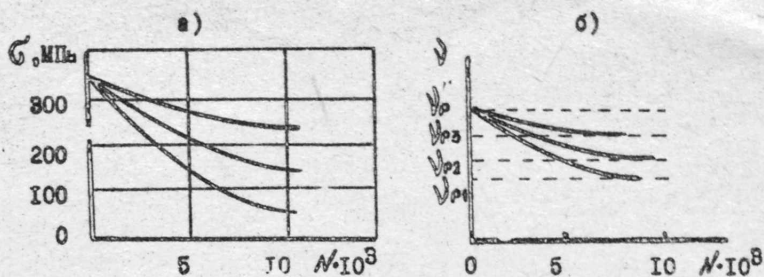


Рис.1 Изменение остаточных напряжений (а) и частоты собственных колебаний Δ (б) в зависимости от числа циклов нагружения.

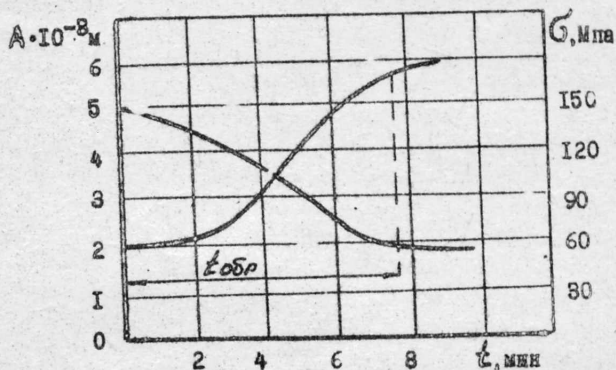


Рис.2 Изменение амплитуды колебаний и остаточных напряжений в процессе виброобработки