

Научная статья  
Original article  
УДК 621.791

**ВИБРАЦИОННАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ СВАРНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ**

**VIBRATION STABILIZATION OF WELDED STRUCTURES**

**Абуладзе Левани Кобаевич**, Выпускник факультета «Специальное машиностроение», МГТУ им. Баумана

**Abuladze Levani Kobayevich**, Graduate of the Faculty of "Special Mechanical Engineering" of Bauman Moscow State Technical University

**Аннотация.** В статье анализируются особенности вибрационной стабилизации сварных конструкций. Рассматриваются воздействие сварки на сварной шов и особенности шва, ограничивающие оценку остаточных напряжений. Приводятся преимущества вибрационной обработки сварных конструкций по сравнению с термической. Выявляются механизм вибрационной стабилизации сварных соединений и воздействие данного метода на механические свойства материала шва. Рассматриваются типы виброобработки и методы оценки её эффективности.

**Annotation.** The article analyzes the features of vibration stabilization of welded structures. The impact of welding on the weld and the features of the weld that limit the assessment of residual stresses are considered. The advantages of vibration treatment of welded structures in comparison with thermal treatment are given. The mechanism of vibration stabilization of welded joints and the effect of this method on the mechanical properties of the weld material are revealed. The types of vibration processing and methods for evaluating its effectiveness are considered.

**Ключевые слова:** машиностроение, металл, сварные конструкции, вибрационная стабилизация, вибрационная обработка.

**Key words:** mechanical engineering, metal, welded structures, vibration stabilization, vibration treatment.

Несмотря на развитие композитных материалов, в современном машиностроении большую роль продолжают играть цветные металлы, стали, чугуны и сплавы [1]. Как правило, металлические конструкции являются составными, а их отдельные элементы скрепляются при помощи сварки. Непосредственно после сварки металлоконструкции имеют достаточно высокую точность размеров, однако последующая механическая обработка либо вылёживание на протяжении двух-трёх недель приводят к изменению предела допусков, и конструкции требуют дополнительной обработки [2]. Причина таких изменений – наличие остаточных напряжений, которые неизбежно сопутствуют процессу сварки и негативно сказываются на параметрах и эксплуатационных свойствах соединений. Увеличить стабильность геометрических размеров сварных конструкций и тем самым повысить качество изделий можно при помощи вибрационной стабилизации, что обуславливает актуальность исследования сущности и специфики данного метода обработки сварных швов.

Целью работы является изучение особенностей вибрационной стабилизации сварных конструкций. Для её достижения были использованы аналитический, синтетический, индуктивный и дедуктивный методы обработки тематических исследований, научных публикаций и релевантных литературных источников.

Соединение деталей сваркой является наиболее универсальным способом, поскольку, в отличие от таких методов, как пайка, клёпка и склейка, сварка не требует предварительной подготовки деталей, поддаётся механизации и автоматизации, способна обеспечить высокую прочность и однородность соединений и позволяет создавать конструкции сложной формы

[3]. Однако, несмотря на все преимущества метода, соединение сваркой ухудшает качество не только шва, но и всего изделия, поскольку:

- сварка нарушает кристаллическую решётку материала, что приводит к значительному снижению прочности сварного соединения;
- при сварке частей детали нагреваются неравномерно, вследствие чего в околошовной зоне происходят кристаллические превращения, приводящие к потере материалом прочности;
- термические воздействия и нарушения в кристаллической решётке металла приводят к появлению в сварной конструкции внутренних напряжений I, II и III родов, которые могут вызывать искривление всей конструкции в целом.

Для устранения остаточных напряжений требуется их верная оценка [4]. Зоне сварного шва присущ ряд особенностей, серьёзно ограничивающих оценку остаточных напряжений: чешуйчатость поверхности сварного шва, усложняющая либо делающая невозможными контактные способы измерения напряжённого состояния, и отличный от основного металла химический и структурно-фазовый состав шва и зоны термического или вибрационного влияния, что не даёт возможности использовать тарировочные кривые, которые были получены на основном металле. Для оценки остаточных напряжений могут использоваться физические, механические и лучевые методы, однако каждой из этих групп присущи собственные ограничения, поэтому для достоверной оценки предпочтительно применение комплексных методик.

Классическим способом снятия сварочных, структурных и термических напряжений сварных соединений является термическая обработка [5]. В результате термообработки изменяется кристаллическое строение сварного шва и околошовной зоны, что приводит к перераспределению внутренних напряжений и улучшению состояния шва. Однако данный метод отличается значительной энерго- и трудоёмкостью, высокой стоимостью и не может

применяться при сварке габаритных изделий, труднодоступных деталей и узлов.

Указанных недостатков лишён такой метод стабилизации сварного шва, как вибрационная обработка [6]. Этот метод примерно в 10 раз экономичнее термообработки за счёт следующих преимуществ:

- оборудование для виброобработки универсально для различных конструкций, мобильно и компактно;
- стоимость оборудования и затраты на его обслуживание на порядок меньше;
- скорость вибрационной обработки больше – максимальное время обработки детали составляет 30 минут;
- после обработки поверхность детали не претерпевает существенных физико-механических изменений, таких как окалина, шлак и прочие.

Метод вибрационной стабилизации заключается в инициации и введении в сварную конструкцию упругой низкочастотной вибрации малых амплитуд, в результате чего происходит уменьшение и перераспределение остаточных напряжений, устранение в металле конструкции структурно-нестабильного состояния, повышение коррозионной стойкости, длительной и усталостной прочности, а также стабилизация размеров и формы конструкции [7]. При вибрационной обработке энергия для релаксации остаточных напряжений передаётся конструкции благодаря возбуждению в ней вынужденных колебаний. Результативность вибрационной стабилизации зависит от выбора места приложения колебательного усилия и положения виброопор, на которые устанавливается конструкция. Наиболее эффективным является воздействие на изделие колебаниями на резонансных либо околорезонансных частотах.

Виброобработка сварных конструкций повышает ударную вязкость металла сварного шва и зоны термического влияния сталей, причём наибольший эффект достигается при частоте вибрационной обработки 50 Гц, которая в наибольшей степени приближается к частоте собственных

колебаний системы (порядка 22 Гц) [8]. Аналогичным образом виброобработка влияет на показатель твёрдости различных зон сварного соединения. Вибрационная стабилизация значительно увеличивает работу распространения трещины в температурном интервале 213...293 К, причём критическая температура хрупкости снижается до 228 К. Также виброобработка увеличивает условный предел текучести при практически неизменной величине предела прочности металла сварного шва. Улучшение механических свойств материала сварного шва после вибрационной стабилизации можно объяснить появлением максимальных дополнительных напряжений в металле и измельчением под действием колебаний зёрен металла, которые образуются в процессе кристаллизации.

В зависимости от агрегатного состояния сварного шва виброобработку можно разделить на два типа [9]:

1. Обработка расплавленного и кристаллизующегося металла. Основное назначение данного типа обработки – увеличение геометрической стабильности, снижение остаточных напряжений и упругих деформаций. Виброобработка затвердевших соединений заключается в создании в сварных конструкциях при помощи механических вибраторов переменных напряжений определённой величины на резонансных или близких к ним частотах на протяжении определённого промежутка времени.
2. Обработка затвердевшего металла. Это более эффективный и экономически выгодный метод, при котором вибрационное воздействие, сопутствующее процессу сварки, воспринимает не только затвердевший металл шва, но и расплавленный кристаллизующийся металл сварочной ванны. Это даёт возможность получить более широкий спектр благоприятных эффектов от обработки и позволяет использовать локальный ввод упругих колебаний непосредственно в зону сварки, благодаря чему

значительно снижается необходимая мощность вибрационных устройств и увеличивается универсальность метода.

Несмотря на свои достоинства, вибрационная обработка сварных соединений может привести к ухудшению состояния металлических изделий, что требует надёжного контроля фактических напряжений в конструкции [10]. Для контроля качества сварных конструкций при вибрационном нагружении могут применяться различные методы оперативного контроля, которые обычно используются в сочетании с другими методами оценки эффективности обработки, поскольку о степени стабилизации геометрических размеров изделия нельзя судить по величине остаточных напряжений. Чаще всего используются следующие методы оценки:

- неразрушающий контроль остаточных напряжений;
- определение амплитудно-частотных характеристик до и после виброобработки;
- определение величины изменения энергии, которая потребляется генератором;
- отслеживание изменений остаточных напряжений в конструкциях при помощи рентгеновской дифрактометрии напряженного состояния [11].

Таким образом, применение вибрационной обработки для снятия остаточных механических напряжений в сварных конструкциях даёт возможность стабилизировать структуру металла околошовной зоны и сварного шва и выгодно перераспределить в них остаточные сварочные напряжения. Вибрационная стабилизация позволяет сократить вызванные сваркой деформации, уменьшить концентрации напряжений в конструкции и увеличить циклическую долговечность сварных соединения до показателей основного металла.

Список литературы

1. Ерёмкина М.О. Вибрационная обработка сварных конструкций // Молодой учёный. – 2016. – № 14 (118). – С. 139-142.
2. Емельянов Р.Т. Вибрационная обработка сварных конструкций / Р.Т. Емельянов, Е.С. Турышева, О.И. Шеденко, Д.А. Кутергина // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 4 (91). – С. 239-241.
3. Новокрещенов С.А. Пути улучшения качества сварных соединений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 7. – С. 152-156.
4. Антонов А.А., Летуновский А.П. Возможности оценки и снятия остаточных напряжений в трубах больших диаметров // Экспозиция Нефть Газ. – 2018. – № 5 (65). – С. 60-62.
5. Тришкина И.А. Метод оценки эксплуатационной надёжности сварных соединений из стали 09Г2С, работающих в средах, вызывающих коррозионное растрескивание / И.А. Тришкина, Е.И. Сторожева, А.Ю. Фейтуллаев, Р.Е. Новиков // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2021. – № 4 (251). – С. 72-81. – DOI: 10.35211/1990-5297-2021-4-251-72-81
6. Хафизова О.Ф. Повышение качества сварных соединений из разнородных трубопроводных сталей вибрационной обработкой конструкций во время сварки // Записки Горного института. – 2011. – Т. 189. – С. 191-194.
7. Степанов В.В. Развитие технологии низкочастотной вибрационной обработки сварных металлических конструкций судо- и машиностроения // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2021. – № 2. – С. 121-125. – DOI: 10.24937/2542-2324-2021 -2-S-I-121-125
8. Хафизова О.Ф., Файрушин А.М., Каретников Д.В. Технологические возможности повышения механических свойств металла сварного соединения из стали 09Г2С // Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 104-108.

9. Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Каретников Д.В. Влияние параметров вибрационной обработки в процессе сварки на свойства сварных соединений // *Литье и металлургия*. – 2012. – № 3 (66). – С. 337-342.
10. Набиуллин У.М. Вибрационная обработка сварных конструкций // *Наука и образование: проблемы и стратегии развития*. – 2019. – № 1(5). – С. 90-93.
11. Будниченко М.А. Виброакустические критерии эффективности низкочастотной виброобработки сварных металлоконструкций / М.А. Будниченко, В.П. Городищенский, Д.А. Лужанский, В.А. Некрасов // *Труды Крыловского государственного научного центра*. – 2018. – № 386 (4). – С. 176-180. – DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-1 76-180

#### **List of literature**

1. Eremina M.O. Vibration treatment of welded structures // *Young scientist*. – 2016. – № 14 (118). – Pp. 139-142.
2. Emelyanov R.T. Vibration treatment of welded structures / R.T. Emelyanov, E.S. Turysheva, O.I. Shedenko, D.A. Kutergina // *Bulletin of KrasGAU*. – 2014. – № 4 (91). – Pp. 239-241.
3. Novokreschenov S.A. Ways to improve the quality of welded joints // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. – 2018. – No. 7. – pp. 152-156.
4. Antonov A.A., Letunovsky A.P. Possibilities of assessment and removal of residual stresses in pipes of large diameters // *Exposure Oil Gas*. – 2018. – № 5 (65). – P. 60-62.
5. Trishkina I.A. Method for assessing the operational reliability of welded joints made of steel 09G2S operating in environments causing corrosion cracking / I.A. Trishkina, E.I. Storozheva, A.Yu. Feitullaev, R.E. Novikov // *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2021. – № 4 (251). – Pp. 72-81. – DOI: 10.35211/1990-5297-2021-4-251-72-81



6. Hafizova O.F. Improving the quality of welded joints from heterogeneous pipeline steels by vibration treatment of structures during welding // Notes of the Mining Institute. – 2011. – Vol. 189. - pp. 191-194.
7. Stepanov V.V. Development of technology of low-frequency vibration processing of welded metal structures of ship and machine building // Proceedings of the Krylov State Scientific Center. – 2021. – No. 2. – PP. 121-125. – DOI: 10.24937/2542-2324-2021 -2- S-I-121-125
8. Hafizova O.F., Fayrushin A.M., Karetnikov D.V. Technological possibilities of improving the mechanical properties of the metal of a welded joint made of steel 09G2S // Notes of the Mining Institute. - 2014. – Т. 209. – pp. 104-108.
9. Rizvanov R.G., Fayrushin A.M., Karetnikov D.V. Influence of vibration treatment parameters in the welding process on the properties of welded joints // Casting and metallurgy. – 2012. – № 3 (66). – Pp. 337-342.
10. Nabiullin U.M. Vibration treatment of welded structures // Science and education: problems and development strategies. – 2019. – № 1(5). – Pp. 90-93.
11. Budnichenko M.A. Vibroacoustic criteria for the effectiveness of low-frequency vibration treatment of welded metal structures / M.A. Budnichenko, V.P. Gorodishchensky, D.A. Luzhansky, V.A. Nekrasov // Proceedings of the Krylov State Scientific Center. – 2018. – № 386 (4). – Pp. 176-180. – DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-1 76-180

© Абуладзе Л.К., 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №7/2022

**Для цитирования:** Абуладзе Л.К. ВИБРАЦИОННАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №7/2022