

Ишкенина Карина Вадимовна

Студент института авиации наземного транспорта и энергетики

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

E-mail: korin.sea02@mail.ru

Ибрагимов Мурат Фанисович

Студент института авиации наземного транспорта и энергетики

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

E-mail: reg.reg41@mail.ru

Ярдухин Руслан Алексеевич

Студент института авиации наземного транспорта и энергетики

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

E-mail: yarduxinRA@mail.ru

Ishkenina Karina Vadimovna

Student of the Institute of aviation, ground transport and energy

KNITU-KAI named after A.N. Tupolev

E-mail: korin.sea02@mail.ru

Ibragimov Murat Fanisovich

Student of the Institute of aviation, ground transport and energy

KNITU-KAI named after A.N. Tupolev

E-mail: reg.reg41@mail.ru

Yarduxin Ruslan Alekseevich

Student of the Institute of aviation, ground transport and energy

KNITU-KAI named after A.N. Tupolev

E-mail: yarduxinRA@mail.ru

**ПРОБЛЕМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ.**

**THE PROBLEM OF WELDING STRESSES, TITANIUM ALLOYS AND
METHODS OF DEALING WITH THEM**

В данной статье подробно рассмотрен типовой механизм возникновения напряжений не только в зоне сварного шва но и в зоне термического воздействия а также была разработана модель ультразвуковой ударной обработки при обратной сварке и изучено влияние номера ударного штифта, метода воздействия, диаметра ударного штифта и частоты воздействия на остаточное напряжение при сварке. Также были рассмотрены взаимодействия при которых тип сварочного процесса влияет на величину деформации. В ходе исследования были выведены следующие гипотетические постулаты - представление анализа остаточных напряжений в камере АВО, в качестве метода снятия остаточных напряжений предложена виброобработка, в качестве альтернативы энергозатратной термообработке.

Аннотация: В статье подробно рассмотрен механизм возникновения напряжений в зоне сварного шва титановых сплавов и возможные пути их устранения.

Объект исследования: сварные швы титанового сплава

Предмет исследования: остаточные напряжения сварного шва

Данная проблема является актуальной на сегодняшний день, так как сварка наиболее универсальный метод соединения заготовок, а титан остается достаточно перспективным материалом за счет своих свойств.

Ключевые слова: сплав, сварной шов, напряжения, сварка, титан.

Abstract: The article describes in detail the mechanism of stress occurrence in the weld zone of titanium alloys and possible ways to eliminate them.

Key words: alloy, weld, tension, welding, titanium.

Введение

Титановые сплавы являются хорошим конструкционным материалом за счет своих физико-механических свойств. Они сохраняют высокую прочность при повышенных температурах, коррозионно-стойкие, немагнитные. Главное их преимущество – жаропрочностные свойства при температурах эксплуатации до 600 °С. Заготовки из этого сплава широко используются в кораблестроении, аэрокосмической отрасли, поэтому

возникает необходимость использовать сварку для изготовления деталей. Однако, из-за особенностей технологии, сварные швы не всегда соответствуют необходимым свойствам, что приводит к образованию брака, в том числе холодных трещин. Для получения качественных изделий необходимо принимать меры, для их предотвращения.

Сварка является одним из наиболее распространенных процессов соединения металлов и других материалов, и с каждым годом её применение только возрастает. В то же время, сварка сопровождается возникновением значительных внутренних напряжений в сварных соединениях, что может негативно сказаться на прочности, долговечности и эксплуатационных характеристиках готовых изделий. Эти сварочные напряжения образуются в результате неравномерного нагрева и охлаждения, а также различных физико-механических свойств материалов, участвующих в процессе сварки. Поскольку сварочные напряжения могут привести к деформациям, трещинообразованию и даже разрушению сварных соединений, их снятие является важной задачей в области сварочного производства.

В последние десятилетия вопрос снятия сварочных напряжений стал предметом активных исследований и разработок, что обусловлено развитием новых технологий и материалов, а также повышением требований к качеству сварных соединений. В связи с этим, изучение теоретических, в связи с этим, изучение теоретических аспектов снятия сварочных напряжений, экспериментальных методов, технологий, применяемых в промышленности, а также практических примеров становится актуальным и необходимым. [1]

Возникновение сварочных напряжений является актуальной проблемой, которая до сих пор подвергается анализу

В данной работе [2] проведен анализ величины и характеристик распределения остаточных макронапряжений по сечению сварных соединений титановых сплавов ВТ20, ВТ6 и ВТ23, полученных методами

аргодуговой и электронно-лучевой сварки, полученных методами аргондуговой и электронно-лучевой сварки. Результаты показали, что в центре шва, независимо от применяемого метода сварки, присутствуют растягивающие напряжения, которые в зоне термического влияния сменяются сжимающими напряжениями. Установлено, что относительный уровень растягивающих напряжений в сварных соединениях исследуемых сплавов снижается с увеличением коэффициента стабилизации β сплавов.

Сварка является основной технологией соединения стальных изделий, в частности, в судостроительной промышленности. В недавних работах сообщается о перераспределении остаточных напряжений в пластинах, сваренных встык, в течение относительно короткого периода времени после сварки. Это явление было исследовано путем ежедневного мониторинга остаточных напряжений при сварке и вертикальных перемещений поверхности свариваемой пластины. Состояние остаточных напряжений контролировалось магнитным методом, а абсолютные значения напряжений измерялись с помощью методов рентгеновской дифракции. Для измерения смещений поверхности использовалось лазерное отслеживающее устройство. Представлены результаты мониторинга, проведенного в течение первых 6 дней после снятия ограничений на сварку и 1 месяца спустя. [3]

В этой статье [4] анализируется ориентация плоскости и направление роста этих трещин в зависимости от циклических и средних напряжений и их градиентов. Также обсуждаются роль и взаимодействие напряжений сдвига, растяжения и сжатия в отношении направления и ориентации трещин. Остаточные напряжения в сварном шве (WRS) подразделяются на локальный эффект растяжения вблизи сварного шва и структурный эффект сжатия дальше от него, что также помогает объяснить некоторые конфигурации трещин в системах RHR. Кроме того, показана зависимость поля WRS от пространственной второй производной температурного поля сварного шва, которая может оказать важное влияние на сравнение измеренного и

смоделированного WRS. Рост трещины также моделировался с помощью XFEM в присутствии WRS, при этом основная гипотеза заключалась в том, что среднее напряжение воздействует только на раскрытие трещины.

В этой статье [5] показано, как тип сварочного процесса влияет на величину деформации. В настоящее время многие судостроительные верфи предпочитают сварку под флюсом (SAW). В этой статье авторы сравнивают сварные швы, выполненные с помощью SAW, с газодуговой сваркой металла на постоянном токе, импульсной газодуговой сваркой металла, методом холодного переноса металла Fronius (CMT), автогенной лазерной и гибридной лазерной сваркой встык в судовой плите DH36 толщиной 4 мм. Было установлено, что лазерная и лазерно-гибридная сварка дают наименьшие деформации. Тем не менее, с помощью импульсной газодуговой сварки металлов и процессов CMT можно добиться значительных улучшений.

Существуют различные методы борьбы с остаточными напряжениями, которые обновляются до сих пор. Классическим является снятие напряжений с помощью термообработки.

В работе А.П. Гуляева [6] представлен основной метод снятия сварочных напряжений с помощью неполного отжига. Механизм заключается в появлении текучести металла в результате чего некоторое количество легкоподвижных дислокаций смещаются, снимая остаточные напряжения в металле, в том числе и сварочные.

В статье [7] была разработана модель ультразвуковой ударной обработки при обратной сварке и изучено влияние номера ударного штифта, метода воздействия, диаметра ударного штифта и частоты воздействия на остаточное напряжение при сварке. Результаты показывают, что продольные остаточные напряжения при сварке во всей области, очевидно, были снижены с помощью различных процессов ультразвукового воздействия при

обратной сварке, что привело к изменению растягивающего напряжения в сварочном шве и прилегающей к нему области на сжимающее напряжение.

В следующей работе [8] представлено изменение напряжений после снятия материала с пластины из титанового сплава толщиной 50 мм, соединенной электронно-лучевой сваркой (EBW), которое было исследовано с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Эксперимент по сварке и фрезерованию был проведен для экспериментального определения напряжений, вызванных электронно-лучевой обработкой, и их изменения после локального удаления материала. Изменение напряжений при сварке, вызванное методом локального удаления материала и методом полного удаления слоя, было рассмотрено с использованием метода конечных элементов. Результаты исследований показали, что при меньшем удалении материала с верхней части напряжения на нижней поверхности остаются практически неизменными; после удаления материала с верхней и нижней частей поперечные напряжения на вновь сформированной поверхности значительно уменьшаются по сравнению с напряжениями при сварке в тех же местах; однако напряжение на нижней поверхности остается неизменным. модификация происходит только в области удаления материала в случае метода удаления локальной области; продольное напряжение уменьшается с увеличением при использовании метода удаления локальных областей.

В данной работе [9] представлен анализ остаточных напряжений в камере АВО, в качестве метода снятия остаточных напряжений предложена вибро обработка, в качестве альтернативы энергозатратной термообработке. Для оценки результата был проведен анализ значения разности главных механических напряжений, коэффициента механических напряжений и коэффициента неоднородности напряжений.

Для полноты анализа были найдены патенты. Изобретение патента относится к сварке плавлением суперсплавов, которые могут быть использованы при изготовлении и ремонте элементов газотурбинных

двигателей. Сварочный валик и основной металл сплавляются вместе. После сварочная термообработка проводится выше температуры солидуса порошка твердого припоя и ниже температуры солидуса высокотемпературного сварочного порошка. Техническим результатом изобретения является обеспечение возможности самозалечивания трещин при сварке после сварочной термообработки. [10]

В патенте представлена ультразвуковая ударная обработка сварных соединений труб. Изобретение позволяет снизить значение остаточных напряжений на 5 ед.[11]

Список источников

1. Антонов А. А., Летуновский А. П. Снижение остаточных сварочных напряжений методом ультразвуковой ударной обработки // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2012. – №. 2. – С. 21-26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23502587> (дата обращения: 12.09.2024).
2. Ганушкевич С. С. Применение информационных технологий для определения параметров режима дуговой сварки разнородных материалов. – 2017. URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/41015> (дата обращения: 12.09.2024).
3. Дубов А. А. Метод магнитной памяти металла и возможности его применения для диагностики элементов энергетических котлов // Промышленная энергетика. – 2013. – №. 2. – С. 48-53. URL: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/175> (дата обращения: 12.09.2024).
4. Дудан А. В. Производство сварных конструкций: учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства». В 2 ч. Ч. 2. – 2013. URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/14234> (дата обращения: 12.09.2024).
5. Дударь Л. А. и др. Деформации и напряжения, возникающие при сварке узлов летательных аппаратов // Текст: электронный/Л.А. Дударь. – 1992. URL: <http://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-izdaniya/Deformacii-i-napryazheniya-voznikaushie-pri-svarke-uzlov-letatelnyh-apparatov-ucheb-posobie-Tekst-elektronnyi-84556> (дата обращения: 12.09.2024).
6. Зарезин В. Е. Повышение ресурса соединений сварных узлов и конструкций железнодорожной техники // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2015. – №. 4 (34). – С. 26-29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-resursa-soedineniy-svarnyh-uzlov-i-konstruktsiy-zheleznodorozhnoy-tehniki> (дата обращения: 12.09.2024).
7. Зуев Н., Щевелев Е., Дзюба А. Автоматические программируемые системы управления электросварочным оборудованием с

функциями допускового контроля, диагностики и визуализации // Компоненты и Технологии. – 2006. – №. 62. – С. 188-192. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskie-programmiruemye-sistemy-upravleniya-elektrosvarochnym-oborudovaniem-s-funktsiyami-dopuskovogo-kontrolya> (дата обращения: 12.09.2024).

8. Илларионов А. Г., Попов А. А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. – 2014. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/28698> (дата обращения: 12.09.2024).

9. Ильин М. Кузовные работы: Рихтовка, сварка, покраска, антикоррозийная обработка. – Litres, 2022. URL: https://books.google.com/books?hl=ru&lr=&id=xS_KAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&ots=OxyxfiOnty&sig=NgIiakNTiE9k_7tA4A0RRHb9W0E (дата обращения: 12.09.2024).