

Содержание

Введение.....	3
1. Алюминиевый сплав Д16Т.....	6
2. Волноводы.....	11
3. Материал и методики исследования.....	14
4. Способы упрочнения сплава Д16Т.....	18
Заключение.....	27
Список используемой литературы.....	28

Введение

Одной из актуальных проблем современной промышленности является, как создание новых, уникальных, так и модернизация уже существующих технологий производства. Для достижения модернизации большого количества технологических процессов одну из ведущих ролей играет применение технологий, действие которых основано на использовании ультразвуковых колебаний. Ультразвуковые технологии применяются во многих сферах жизнедеятельности человека. На сегодняшний день основные процессы, реализуемые и интенсифицируемые при помощи высокоэнергетических ультразвуковых колебаний, принято разделять на три группы, в зависимости от вида среды, в которой они реализуются.

К первой группе относят все процессы, в которых в качестве обрабатываемой среды выступают твердые и термопластичные материалы. К процессам в данной группе относится УЗ сварка. В настоящее время с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности производится сварка полимерных термопластичных материалов. Сварка полиэтиленовых трубок, коробок, банок обеспечивает отличную герметичность. В отличие от других способов, с помощью ультразвука можно варить загрязненные пластмассы, трубки с жидкостью. При этом содержимое стерилизуется. С помощью ультразвуковой сварки производится сварка тончайшей фольги или проволоки к металлической детали. Причем УЗ сварка является холодной сваркой, поскольку шов формируется при температуре ниже температуры плавления. Таким образом, соединяются сваркой алюминий, тантал, цирконий, ниобий, молибден.

Ко второй группе относятся процессы, связанные с обработкой жидких сред.

Например, ультразвуковая очистка. Сегодня существует множество способов очистки поверхностей от различных загрязнений. УЗ очистка является наиболее быстрой, она обеспечивает высокое качество и отмывает

труднодоступные участки. При этом обеспечивается замена высокотоксичных, огнеопасных и дорогих растворителей обычной водой. С помощью высокочастотных ультразвуковых колебаний производится очистка автомобильных карбюраторов и инжекторов за несколько минут. Причина ускорения очистки в кавитации, особом явлении, при котором в жидкости образуются мельчайшие газовые пузырьки, создают мощные гидротоки, которые вымывают всю грязь. На этом принципе существуют сегодня стиральные машины и малые установки мойки. Ультразвуковое воздействие в жидких средах уничтожает микроорганизмы и поэтому широко используется в медицине и микробиологии.

Третья группа – это интенсификация процессов в газовых средах. Известно, что металлы при плавлении поглощают газы алюминия и его сплавы. Это приводит к ухудшению качеств металла. Газы удаётся удалять с помощью УЗ, что позволило в нашей стране создать специальный технологический цикл и широко использовать его при производстве металлов. Для определенных видов работ и задач требуется использование специальной ультразвуковой техники, которая в свою очередь может требовать использования сложных форм волноводов, проектирование которых является непростой задачей и требует достаточно времени. Чем выше требования у технологического задания, тем выше сложность и себестоимость волновода.

Цель исследования – разработка технологии упрочнения ультразвуковых волноводов из алюминиевого сплава Д16Т.

Задачи исследования:

- провести литературный обзор на данную тематику;
- описать методику, оборудование и исследуемые объекты;
- рассмотреть методы контроля.

Методика исследования- при исследовании использовалась методика проверки усталости материала ультразвуковых волноводов. Были отобраны несколько образцов, которые в лаборатории были подвержены испытаниям

на прочность и дальнейшей детальной проверки. Методика заключалась в том, что на сервогидравлической испытательной машине образец подвергся максимальной нагрузке. Далее под металлографическим микроскопом были изучены мельчайшие повреждения и структура изменения металла. Далее с помощью методики Баловнева Н.П. сделан вывод о повреждениях и выбраны методы упрочнения алюминиевого сплава Д16Т.

Оборудование для исследования - Универсальной сервогидравлической испытательной машины Instron 8802, металлографический микроскоп Axio Vert 40 MAT.

1. Алюминиевый сплав Д16Т

Алюминиевый сплав Д16Т относится к системе Al - Cu - Mg. В первую очередь Д16Т подвергается закалке при температуре 495-505 градусов. Во-вторых, дюралюминий закаливается в холодной воде, больше влияние имеет именно температура охлаждающей среды, где самый оптимальный диапазон, при котором сплав достигает максимального сопротивления к межкристаллитной коррозии и питингу – 250-350 градусов. И в последнюю очередь дюралюминиевый сплав Д16Т подвергается естественному старению, которое проводится при комнатной температуре в течение 4-5 дней. В результате после закалки и старения материал приобретает твердость, равную 125-130 НВ, которая является максимальной среди всех известных дюралюминов.

Таблица 1 - Химический состав Д16Т

Fe	Si	Mn	Cr	Al	Cu	Mg	Zn	Примеси
До 0,5	До 0,5	0,3-0,9	До 1	90,9- 94,7	3,8-4,9	1,2-1,8	До 0,25	Прочие, всего 0,15

Благодаря уникальным эксплуатационным характеристикам сплав Д16Т применяется в различных отраслях народного хозяйства. Главным образом, Д16Т используется в нефтяной, химической, судостроительной, автомобилестроительной и авиаконструкторской промышленности. Плиты и листы из алюминиевого сплава применяются в сборке кузовов, обшивок, тяг, лонжеронов и каркасов автомобилей, судов, авиационной и космической техники, а также для изготовления рекламных щитов, уличных табличек и дорожных знаков. Кроме того, ни один современный производственный

станок, не обходится без деталей из дюрала. Материал отлично себя зарекомендовал и в нефтедобывающей промышленности.

Таким образом из Д16Т производятся трубы нефтяной нормали, подобное оборудование из дюрала может служить бесперебойно, а главное, стабильно и безотказно порядка восьми лет. Если затрагивать сферу ультразвуковых технологий, то из Д16Т изготавливаются волноводы различной сложности.

Достоинства материала Д16Т:

- механическая прочность в результате термоупрочнения;
- малый удельный вес;
- гибкость и пластичность;
- повышенное сопротивление микроскопической деформации в процессе эксплуатации;
- повышенное сопротивление микроскопической деформации в процессе эксплуатации низкая химическая активность.

К основным преимуществам алюминиевых волноводов по сравнению с латунными относятся: снижение в 2 – 2,5 раза массы узлов и трактов СВЧ; отсутствие трудоемкого и длительного процесса гальванического и химического серебрения токонесущих поверхностей, что упрощает технологический процесс и, следовательно, снижает себестоимость; отсутствие пайки узлов серебросодержащими припоями; сокращение расхода серебра и латунного проката; возможность широкого применения обработки давлением из-за пластических свойств алюминия, что снижает трудоемкость изготовления. [3]

Фланцы с уступами для алюминиевых волноводов изготавливаются из алюминия марок АОО, АО или из сплава В95, которые хорошо штампуются. Закалка до штамповки заключается в нагревании заготовок до 460 - 480 С и быстром охлаждении. Приобретенные при этом свойства алюминия не меняются в течение суток в условиях хранения при температуре 20 5 С. [4]

Возможность отказа от серебрения подтверждается успешным применением алюминиевых волноводов и резонаторов, рабочие поверхности которых не покрываются серебром. [5]

По этой причине удовлетворительной обработкой следует считать такую, при которой шероховатость не превышает 0,13 мкм для посеребренного волновода на частоте 100 ГГц и 1,3 мкм для алюминиевого волновода на частоте 1,2 ГГц. [10]

Чаще всего волноводы изготавливаются из латунных и алюминиевых труб с прямоугольным сечением, соответствующим длине волны, для которой они предназначены. Алюминиевые волноводы не серебрятся. [8]

В качестве волновода используется гибкий эллиптический типа ЭВГ-6 с арматурой, обеспечивающий переход от эллиптического к прямоугольному сечению. Возможно использование и полугибкого алюминиевого волновода соответствующего сечения. [9]

Однако наиболее рациональным способом пайки алюминиевых волноводов является пайка их в соляных ваннах. [6]

Фосфатное оксидирование алюминия и его сплавов осуществляется в электролите, в состав которого входит фосфорная кислота, хромовый ангидрид и фтористый натрий. Получаемая пленка серо-зеленого цвета, толщиной 5 - 7 мкм, обладает высокими защитными свойствами и успешно применяется для защиты внутренних электропроводящих поверхностей алюминиевых волноводов и других деталей. Все без исключения способы нанесения гальванических покрытий могут быть механизированы и автоматизированы. В качестве примера выше был рассмотрен процесс цинкования с последующим пассивированием, осуществляемый в автомате. Такие автоматы уже освоены в СССР и успешно работают, сочетая экономический эффект с высоким качеством покрытия. [11]

Режим работы - при температуре 18 - 20 С, время выдержки - 8 - 12 мин. Волноводы с таким покрытием выдерживают испытания при самых сложных климатических условиях. [12]

Наружные поверхности алюминиевых волноводных звеньев также нуждаются в защитных антикоррозионных покрытиях. К способам создания таких покрытий относится глубокое твердое анодирование в серной кислоте, которое осуществляется при отрицательной температуре в пределах от - 5 до - 10 С. Толщина анодированного слоя составляет около 100 мкм, причем анодированная поверхность алюминия после закрепления приобретает твердость корунда. Сочетание глубокого твердого анодирования с лакокрасочными покрытиями обеспечивает надежную защиту поверхности алюминиевых волноводов в любых условиях эксплуатации. [1]

Рассматриваемый в обзоре сплав Д16Т является прямым аналогом зарубежной марки 2024, твердость и прочность, которого значительно изменяется в процессе сварки в связи с тепловыми нагрузками, возлагаемыми на свариваемые конструкции. [13]

Сплав относится к системе Al-Cu-Mg, отличительной особенностью сплава является то, что он имеет стабильную структуру, малый удельный вес, относительно высокие прочностные характеристики и хорошо обрабатывается. В сплаве присутствуют компоненты, которые позволяют противодействовать агрессивным средам, также сопротивление коррозии можно усилить нанесением на него защитного покрытия, что позволит использовать его использовать в условиях повышенной влажности. Главным недостатком материала является низкая способность к сварке, но даже при этом условии, сплав пригоден к сварке точечными методами в ряд которых подпадает лазерная сварка. Вопросы необходимости газовой поддержки для повышения качества сварного соединения алюминиевых сплавов решены во многих научных работах.

Для предотвращения образования пор, трещин и размягчения в расплавленной зоне используют защитные газы. Размягчение в зоне сварного соединения приводят к снижению прочности из-за растворения выделений и потери упрочняющей фазы. Из-за того, что при сварке дюралюминий претерпевает сложный термомеханический процесс в результате нагрева при

получении сварного соединения, следует проводить металлографические и механические испытания после сварки.

При лазерной сварке алюминиевого сплава 2024, возникающее остаточное напряжение в сварном соединении может превышать предел текучести, что существенно влияет на твердость и предел прочности при растяжении.

По проанализированным источникам, можно сделать следующие выводы:

1. Определяющим фактором структуры сплава является температура основного металла в процессе сварки, а остаточные напряжения существенно влияют на механические свойства сварных соединений, получаемых операцией лазерной обработки.

2. Существует необходимость в решении термических задач для лучшего восприятия тепловых процессов протекающих в сварочной ванне расплава при лазерной сварке.

3. Газовая поддержка в процессе лазерной сварки повышает качество сварных соединений, как правило используют аргон, но в более ответственных конструкциях используется гелий.

4. Сплав 2024 (D16T) склонен к трещинообразованию, поэтому использование присадочных материалов и регулирование нагрева и охлаждения позволяет предотвратить тенденцию трещинообразования – на начальных этапах зарождения трещин/микротрещин.

5. Регулировка тепловых циклов лазерного излучения позволяет влиять и контролировать микроструктуру получаемых сварных соединений, в том числе используя легирующие добавки в расплав.

2. Волноводы

Д16 - это сплав алюминия с магнием и медью. Такие сплавы именуются дюралюми, а дюралюми применяются в качестве конструкционных сплавов в авиационной и космической промышленности, благодаря их прочности и относительной лёгкости. Продажа алюминиевого проката.

В чистом виде Д16 применяется редко, так как в не закалённом состоянии обладает меньшей прочностью и твёрдостью, чем АМгб и в то же время уступает ему по коррозионной стойкости и свариваемости. Но детали из Д16 с поперечным сечением не более 100-120 мм можно закалить и состарить уже после их изготовления. В большинстве же случаев в продаже присутствуют уже упроченные и состаренные естественным методом полуфабрикаты, маркируемые Д16Т.

Сплав классифицируется как прочный термоупрочняемый, но не предназначен для сварки. Однако, его можно сваривать точечной сваркой, хотя в большинстве случаев детали из него закрепляются с помощью креплений. Также из Д16 могут изготавливать и сами крепления в виде заклёпок с антикоррозионным покрытием. Сплав легко обрабатывается резанием.

Д16Т - это конструкционный термоупроченный и естественно состаренный сплав в заготовке, который применяется в различных областях народного хозяйства.

Его применяют и для изготовления силовых элементов конструкций в авиатехнике: деталей обшивки, каркаса, шпангоутов, нервюр, тяги управления, лонжерон.

Также из него выпускают и детали, работающие при температуре в пределах 120-230 °С — по ГОСТу.

Он применяется и в автомобильной промышленности для изготовления кузовов, труб и других достаточно прочных деталей.

Д16Т применяют для изготовления заклёпок с высокой прочностью на срез. Эти же заклёпки применяются для крепления других более мягких алюминиевых деталей, например, из магналий АМгб.

Волновод – это специальный канал (искусственный или естественный), который может распространять волны и способный поддерживать их частоту.

Одно из набирающих обороты направлений использования волноводов является ультразвуковая сварка, которая позволяет с помощью специальной установки на базе магнестриктора проводить сваривание изделий из пластмассы и полимеров.

На базе Государственных Университетов в лабораториях ведется работа по изучению различных волноводов, которые отличаются друг от друга не только формой и материалами, но и областями их применения.

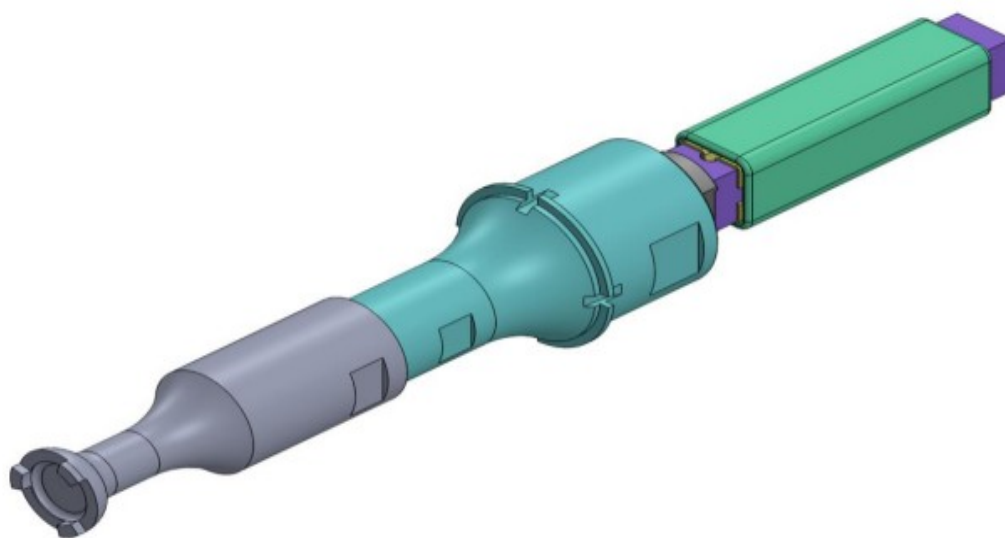


Рисунок 1 – Общий вид ультразвуковой колебательной системы

Вся УЗКС состоит из нескольких частей: магнестриктор на котором находится обмотка подмагничивания, специальный переходник, который имеет стандартную длину в 10 мм, и сам волновод или же бустер. Бустер в свою очередь это амплитудный преобразователь. Он представляет ключевой

элемент резонансной структуры. Служит для увеличения или снижения амплитуды колебаний преобразователя и передаёт их волноводу. Сама амплитуда меняется в зависимости от характеристик заготовки. На рисунках 2 и 3 представлены волноводы из алюминиевого сплава Д16Т.



Рисунок 2 – Волновод из алюминиевого сплава Д16Т

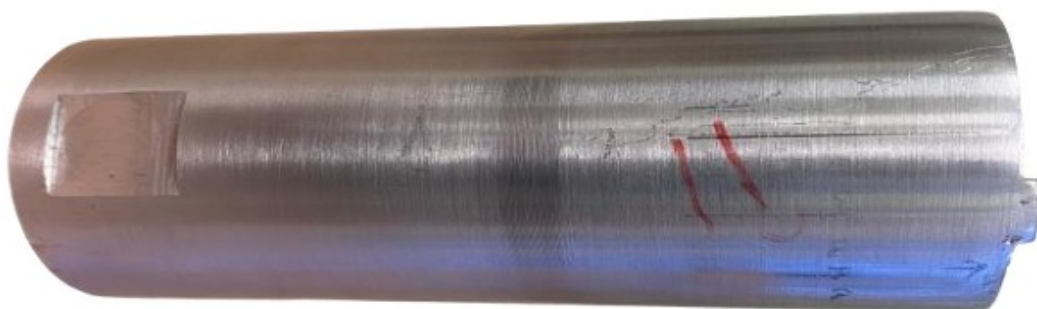


Рисунок 3 – Волновод из алюминиевого сплава Д16Т

Материалы, из которых изготавливаются волноводы довольно разные, но наиболее известны те, который изготавливаются из алюминиевых и титановых сплавов. Каждый из материалов по-своему хорош, но каждый из них имеет плюсы по сравнению с другим в отдельных моментах.

3. Материал и методики исследования

В качестве материала ультразвуковых волноводов был использован титановый сплав Д16Т (90,9-94,7 % Al; до 3,8-4,9 % Cu; 1,2-1,8 % Mg; 0,3-0,9 % Mn; до 0,5 % Fe; до 0,5 % Si; 0,25 % Zn; до 0,15 % Ti) в деформированном и литом состояниях.

Первоначально из общего списка предложенных волноводов мы выбрали несколько образцов из сплава Д16Т



Рисунок 4 – Выбранные образцы из сплава Д16Т

Общий вид волновода 1 с трещиной представлен на рисунке 5. После вскрытия трещины обнаружен излом, состоящий из нескольких отдельных фрагментах усталостного разрушения. Причем данные фрагменты расположены на разном уровне, а очаг зарождения трещины находится не только на поверхности волновода (у резьбы), но и внутри волновода.



Рисунок 5 – Общий вид волновода 1

Усталостное разрушение волноводов под действием ультразвуковых колебаний можно рассматривать как мегацикловую усталость. Зарождение трещины при мегацикловой усталости происходит у дефектов металла (микропоры, неметаллические включения и так далее).

Отсюда следует вывод: к металлу, из которого изготавливают ультразвуковые волноводы должны быть предъявлены повышенные требования к качеству и чистоте металла.

Микрорельеф поверхности усталостных участков излома между макрополосами состоит из сравнительно малорельефных участков и бороздок, в основном расположенных параллельно направлению расположения усталостной трещины. Это вызывает сомнение, что они отражают положение фронта трещины за каждый цикл нагружения.

Обнаружен необычный микрорельеф поверхности усталостных изломов волноводов из алюминиевого сплава Д16Т (волновод №1), состоящий из полос, напоминающих усталостные бороздки, расположенных параллельно фронту распространения усталостной трещины. Между такими полосами и перпендикулярно к ним располагаются мелкие бороздки. Природу формирования такого микрорельефа еще предстоит выяснить.

Общий вид волновода 2 с обнаруженной трещиной представлен на рисунке 6. Участок с трещиной выделен синим цветом. После вскрытия трещины можно наблюдать излом. Как видно из рисунка 6, излом является

усталостным. Очаг зарождения усталостной трещины находится под поверхностью волновода, о чем свидетельствуют концентрические макрополосы на поверхности излома. Направление распространения усталостной трещины показано красной стрелкой.



Рисунок 6 – Общий вид волновода 2 с трещиной

Вблизи очага зарождения усталостной трещины имеет место своеобразный микрорельеф, состоящий из полос, напоминающих усталостные бороздки, расположенных параллельно фронту распространения усталостной трещины. Между такими полосами и перпендикулярно к ним располагаются мелкие бороздки.

Усталостное разрушение волноводов из алюминиевого сплава Д16 в состоянии ТЗ под действием ультразвуковых колебаний можно рассматривать как мегацикловую усталость. Зарождение трещины при мегацикловой усталости происходит исключительно у дефектов металла, а именно микропоры, неметаллические включения и так далее. Отсюда следует вывод о том, что к металлу, из которого изготавливают ультразвуковые колебательные системы и волноводы, которые применяются при ультразвуковой сварке в условиях массового производства должны быть предъявлены повышенные требования контроля к качеству и чистоте

металла. Так как, известно, что зарождение трещины при мегацикловой усталости под действием ультразвуковых колебаний происходит у дефектов металла, а именно были обнаружены неметаллические включения в микроструктуре алюминиевого сплава Д16Т.

4. Способы упрочнения сплава Д16Т

1. Перед проведением работы включить печи и довести температуру нагрева в печи под закалку до 500 о С, а в печах для старения до 100, 200, 250 о С.

2. В печь под закалку заложить на поддоне 12 образцов сплава Д16 (1160). После 40. 50-минутной выдержки провести закалку всех образцов воде, обеспечив ускоренное перенесение образцов в закалочный бак и энергичное перемешивание воды.

3. Измерить твердость по шкале HRB оттоженного образца и 12 закаленных образцов. Перед измерением твердости зачистить торцевые поверхности образцов на наждачной бумаге. Объединить закаленные образцы по 4 штуки с приблизительно одинаковой твердостью.

4. Провести искусственное старение при температурах 100, 200, 250 о С. Заложить в соответствующую печь по 4 образца. Провести отбор образцов после 5-, 10-, 20- и 30-минутной выдержки. После остывания образцы зачистить на наждачной бумаге, измерить их твердость по шкале HRB.

Алюминиевые сплавы, имеющие переменную растворимость компонентов в твердом состоянии, можно упрочнить термической обработкой, состоящей из закалки и старения.

Цель закалки - получить в сплаве предельно неравновесное фазовое состояние - пересыщенный твердый раствор с максимально возможным содержанием легирующих элементов. Такое состояние обеспечивает, с одной стороны, повышение (по сравнению с равновесным состоянием после отжига) твердости и прочности при сохранении пластичности, а с другой - возможность дальнейшего упрочнения при старении.

Высокая пластичность сплавов после закалки позволяет подвергать полуфабрикаты формоизменению с целью изготовления деталей, пока легирующие элементы находятся в твердом растворе.

При старении структура сплавов приближается к равновесной в результате распада пересыщенного твердого раствора и образования мелкодисперсных частиц. При этом повышаются твердость, прочность, снижается пластичность, возрастает сопротивление коррозии.

Из термически упрочняемых сплавов наиболее широкое применение получили дюралюмины (система легирования Al-Cu-Mg) и высокопрочные сплавы (Al-Zn-Cu-Mg).

Рассмотрим особенности упрочнения сплавов на примере дюралюминов. Термическая обработка дюралюминов основана на переменной растворимости меди и магния в алюминии. В равновесном состоянии сплавы содержат твердый раствор и включения вторичных фаз Θ (CuAl_2) и S (CuAl_2Mg). Количество S-фаз возрастает с увеличением содержания Mg в сплаве.

Для наглядности примем, что основной фазой в дюралюминах является Θ , и фазовые превращения будем рассматривать по двойной диаграмме Al-Cu.

Термически упрочняемыми в системе (Al-Cu) являются сплавы с содержанием меди более 0,1%, максимальная растворимость меди в алюминии при 20 °С. Растворимость меди в твердом растворе α повышается до 5,65% при температуре 548 °С (температура эвтектического превращения).

Сплавы, содержащие не более 5,65% меди, относятся к деформируемым. После отжига эти сплавы состоят из твердого раствора на основе алюминия α , содержащего 0,1% Cu, и крупных включений Θ -фазы (фаза переменного состава с 53. 55 % Cu).

Прочность сплава после отжига минимальная.

Закалка деформируемых сплавов заключается в нагреве и выдержке при температуре, когда вторичная Θ -фаза полностью растворится в твердом растворе α , и последующем быстром охлаждении до комнатной температуры (20..25 °С). В результате закалки структура, равновесная при температуре

нагрева, фиксируется при температуре 20. 25 о С, так как при быстром охлаждении не происходит распад твердого раствора (выделение Θ -фазы). После закалки получается пересыщенный твердый раствор с существенно более высоким содержанием меди по сравнению с равновесной структурой (0,1% Cu). Содержание меди в пересыщенном твердом растворе соответствует ее содержанию в сплаве.

Сплавы, содержащие более 5,65% Cu, относятся к литейным. Температура нагрева под закалку этих сплавов на 5. 15 о С ниже температуры эвтектического превращения. При закалке получается пересыщенный твердый раствор с меньшей концентрацией меди, чем содержится в сплаве. При нагреве под закалку и после закалки в сплавах присутствует не растворившаяся эвтектика ($\alpha + \Theta$). Сохранение не растворившейся доли Θ -фазы объясняет причину уменьшения содержания меди в пересыщенном твердом растворе.

Охлаждение при закалке производится со скоростью больше критической - минимальной скорости охлаждения, при которой не происходит распад пересыщенного твердого раствора. В промышленности большинство алюминиевых сплавов при закалке охлаждают в воде с температурой до 40 о С. Скорость охлаждения тонкостенных изделий в холодной воде (600. 800 о С/с) значительно превосходит критические скорости охлаждения сплавов (10. 120 о С/с). Такие условия охлаждения обеспечивают значительную прокаливаемость. Изделия из алюминиевых сплавов прокаливаются насквозь в сечениях 120..150 мм.

Пересыщенный твердый раствор закаленного сплава отличается повышенным уровнем свободной энергии. Распад твердого раствора, происходящий при старении, приближает фазовое состояние к равновесному.

Основными параметрами старения являются температура и продолжительность выдержки. Старение может развиваться без нагрева (при 20. 25°С) - естественное старение - либо при повышенных температурах

(обычно 100. 200°C) - искусственное старение. Старение приводит к структурным изменениям, вызывающим упрочнение.

Главной особенностью старения является то, что распад твердого раствора проходит несколько стадий. При повышении температуры и увеличении продолжительности выдержки последовательно возникают следующие образования: зоны Гинье-Престона (зоны ГП), кристаллы метастабильной фазы, кристаллы стабильной фазы. Эти образования расположены в порядке возрастания энергии зарождения.

Зоны ГП в сплавах Al с Cu представляют собой небольшие участки (в форме дисков диаметром 20 нм, толщиной 1 нм) твердого раствора, обогащенные медью. Их кристаллическая структура такая же, как у твердого раствора, но с меньшим периодом решетки, так как атомный радиус меди меньше (10%), чем атомный радиус алюминия. Вокруг каждой зоны ГП возникают упругие искажения кристаллической решетки. Упрочнение при зонном старении (образовании зон ГП) обусловлено торможением дислокаций при их прохождении через упруго искаженную матрицу и при перерезании самих зон.

Метастабильная фаза Θ' по составу приближается к стабильной (CuAl_2), имеет отличную от α кристаллическую решетку. Фаза Θ' сопряжена когерентной или полукogerентной границей с решеткой твердого раствора. Нарушение когерентности устраняет упругие искажения матрицы. Торможение дислокаций при фазовом старении (выделение фазы Θ' или Θ) связано с тем, что дислокации не перерезают, а обходят частицы оставляя вокруг них дислокационные петли, что также повышает прочность сплава.

Стабильная Θ -фаза соответствует составу CuAl_2 , имеет собственный тип решетки, отличный от решеток Θ -фазы и матрицы приводит к полному нарушению когерентности. Граница раздела фаз становится некогерентной. Полностью утрачивается искажение матрицы, что приводит к разупрочнению. Однако высокодисперсные выделения Θ -фазы обеспечивают

более высокую прочность сплава по сравнению с отожженным состоянием, когда частицы Θ -фазы получаются крупными.

Изменение свойств сплава при старении зависит от типа выделений, их размеров и количества. Количество частиц в основном определяется степенью пересыщенности твердого раствора, которая связана с составом сплава и условиями закалки. Тип образований, их размер зависят от температуры и продолжительности старения.

Упрочнение сплавов наблюдается на первых стадиях распада пересыщенного твердого раствора: при образовании зон ГП, выделении когерентных частиц Θ' -фазы. Последующие стадии, связанные с нарушением когерентности Θ' -фазы, образованием Θ -фазы и коагуляцией (укрупнением) стабильной фазы, приводят к снижению прочности.

При естественном старении преодолевается только энергия активации образования зон ГП, т.е. распад твердого раствора начинается и заканчивается на этой стадии. Снижение прочности при таком старении не наблюдается.

При искусственном старении в зависимости от температуры и продолжительности выдержки выделяется тот или иной тип образований, что приводит к разной степени упрочнения. Повышение температуры ускоряет процесс. Однако степень упрочнения снижается с повышением температуры старения.

При постоянной температуре после достижения максимальной прочности наблюдается разупрочнение. На стадии разупрочнения получается более устойчивая структура к нагревам при эксплуатации. Разупрочнение при старении называется перестраиванием. Перестраивание используется для термической стабилизации структуры и свойств сплавов, предназначенных для работы при повышенных температурах (125. 200 о С).

В промышленности режим старения назначается исходя из обеспечения либо максимальной прочности, либо коррозионной стойкости. В последнем случае применяются режимы с перестраиванием. Это так называемые

смягчающие режимы. Смягчающее старение по сравнению со старением на максимальную прочность приводит к частичному или полному нарушению когерентности выделений упрочняющих частиц, более равномерному их распределению, обуславливает некоторое снижение прочности, но существенное повышение вязкости разрушения, устойчивости против коррозии под напряжением и расслаивающейся коррозии.

Упрочнение волной деформации применялось для различных деталей и материалов. При этом глубина и степень упрочнения, например, для стали 45 достигала, соответственно, 5–6 мм и 90 %, а для стали 110Г13Л – 8–10 мм и 250 %, что связано с ее высокой склонностью к пластическому деформированию. Очень важным параметром структуры после упрочнения волной деформации, оказывающим большое влияние на эксплуатационные характеристики, является равномерность упрочнения.

Исследованиями, проведенными на долговечность при действии контактных циклических нагрузок плоских образцов из стали 45 после упрочнения волной деформации с различным коэффициентом перекрытия, установлено, что наибольшее (до 7 раз) увеличение сопротивления действию контактных циклических нагрузок зафиксировано на образцах с гетерогенно упрочненной структурой, полученной при $0,35 < K < 0,45$, при этом в 1,5–2,5 раза снижено количество выкрашиваний, уменьшился размер выкрашиваний, наибольшее выкрашивание, обнаруженное на упрочненной поверхности, было в 10–15 раз меньше, чем на неупрочненной, а наименьшее – меньше в 1,5–2 раза, средний размер выкрашиваний снизился в 2–3 раза. Проведенные исследования структуры металлических образцов, упрочненных волнами деформации, выявили наличие наноструктурных зон аналогичных, полученных интенсивной пластической деформацией, размеры которых изменяются от 30 до 90 нм [14, 15]. Причем равномерность чередования наноструктурных зон может регулироваться энергией ударных волн деформации, размерами и геометрией пятна контакта инструмента и

деформируемой поверхности, а также кратностью и величиной смещения возникающих очагов деформации.

Упрочнение волной деформации рекомендуется, в первую очередь, для упрочнения тяжело-нагруженных деталей, имеющих глубину несущего слоя до 6–8 мм и более. В результате упрочнения опытной партии сердечников крестовины Р65 типа 1/11 железнодорожных стрелочных переводов микротвердость наиболее изнашиваемой части клина и усовиков сердечников повысилась в 2,5 раза (с 260 до 640 НV), а глубина упрочненного слоя составила 8–9 мм. Это позволило снизить износ поверхности катания клина и усовиков сердечника, и до 3 раз увеличить срок его службы относительно установленных норм.

Упрочнение волной деформации использовалось для отверстий с диаметром менее 120 мм. Упрочнение осуществлялось по схеме прошивания, когда инструмент – дорн – проходит вдоль упрочняемого отверстия под действием комбинированной толкающей статической и ударной нагрузки. При этом ударная нагрузка преимущественно определяла параметры наклепанного слоя. В качестве инструментов для СИО отверстий применялись шары от подшипников, а также дорны с кольцами, используемые для классического дорнования. Установлено, что степень и глубина упрочнения увеличивается с увеличением натяга, толщины стенки втулки и уменьшением диаметра упрочняемого отверстия и, соответственно, используемого диаметра инструмента. При толщине стенки до 20 мм и натягах, начиная от 0,5 мм, происходит упрочнение на всю толщину стенки. С уменьшением диаметра упрочняемого отверстия и, соответственно, использованием инструмента меньшего диаметра уменьшается площадь контакта инструмента и упрочняемой поверхности, повышается давление в очаге деформации, что приводит к увеличению степени и глубины упрочнения.

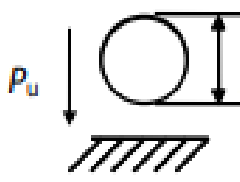
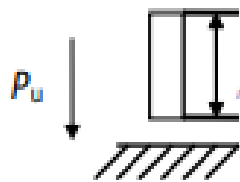
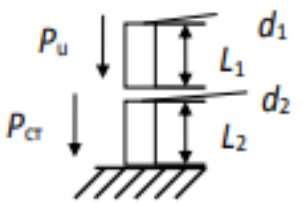
Установлено, что в зависимости от режимов упрочнения волной деформации отверстий шероховатость упрочненной поверхности может

составлять $Ra = 0,5-0,08$ мкм, при исходной – $Ra = 5-6,5$ мкм. С увеличением диаметра инструмента происходит уменьшение давления на нагружаемую поверхность, что приводит к улучшению условий прохождения инструмента через обрабатываемое отверстие. Увеличение давления снижает шероховатость, при этом поверхность приобретает профиль с периодически повторяющимся шагом, что положительно сказывается на работоспособности упрочненных таким образом гильз цилиндров и резиновых уплотнителей поршней, работающих с осевым перемещением.

Способы подвода энергии удара в очаг деформации представлены в таблице.

Проведена оценка скорости упрочнения отверстий волной деформации, которая в зависимости от натяга и диаметра инструментов составила не менее 2,76 м/мин, что более чем в два раза выше, чем при дорновании с большими натягами для тех же условий.

Таблица 2 - Способы подвода энергии удара в очаг деформации.

Способ	Ударом		Ударом бойка по торцу волновода
	Шара	Бойка	
Схема способа			
Номер импульса	1	2	3

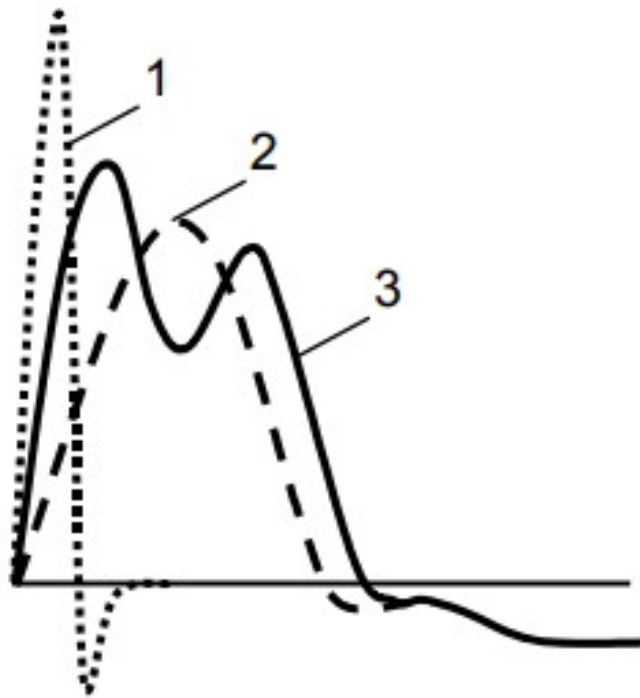


Рисунок 7. Зависимость формы импульса, генерируемого в очаге деформации, от вида ударной системы

Установлено, что упрочнение волной деформации является эффективным способом, позволяющим обеспечивать параметры качества поверхностного слоя, необходимые для повышения эксплуатационных свойств различных деталей машин. В результате его применения может быть получена глубина упрочненного поверхностного слоя, достигающая 6–10 мм, и степень упрочнения до 250 %, гетерогенно упрочненная структура, обеспечивающая повышение долговечности при действии контактных усталостных нагрузок до 7 раз.

Заключение

В волноводе №1 на базе Д16Т обнаружен необычный микрорельеф поверхности, который напоминает усталостный, состоящий из полос, которые напоминают усталостные бороздки, которые расположены параллельно фронту распространения усталостной трещины, где между такими полосами и перпендикулярно к ним располагаются мелкие усталостные бороздки.

Природу данного формирования и необычного микрорельефа структуры сплава Д16Т еще предстоит выяснить в дальнейшей исследовательской деятельности, где будет проведен дополнительный микроскопический анализ структуры. Причиной разрушения волновода №2 на базе Д16Т является зарождение трещины при мегацикловой усталости, которое как известно происходит у дефектов металла. Отсюда следует вывод: к металлу, из которого изготавливают ультразвуковые волноводы должны быть предъявлены повышенные требования к качеству и чистоте металла.

Технические рекомендации:

- упрочнение ультразвуковых волноводов методами ШПД;
- снижение конструктивных концентраторов напряжений в резьбовых соединениях;
- повышенный контроль материала на наличие внутренних дефектов в структуре материала.

Применяя данные рекомендации на предприятиях в условиях массового производства значительно увеличится долговечность ультразвуковых колебательных систем и волноводов, применяемых при ультразвуковой сварке в условиях массового производства.

Список используемой литературы

1. Аграната Б. А. Ультразвуковая технология. М., Metallurgy, 1974. 504 с.
2. Балдев И. В., Радж, В. Раджендран, П. Паланичами Применения ультразвука. 2006. 576 с.
3. Баловнев Н. П. Расчет резьбовых соединений и винтовых механизмов 1999. 40 с.
4. Биргер И.А. Об одном критерии разрушения и пластичности. Механика твердого тела 1977. 240 с.
5. Ботвина Л. Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов. М.: Наука, 1989. 230 с.
6. Владимиров В. И. Физическая природа разрушения материалов. М.: Metallurgy, 1984. 280 с.
7. Иванова В. С., Шанявский А. А. Количественная фрактография.
8. Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства, 2009. 520 с.
9. Клевцов Г. В., Лабораторный практикум по курсу «Материаловедение» для технических направлений подготовки бакалавров. Тольятти: ТГУ, 2015. 148 с.
10. Сырников Е.П. Расчет резьбовых соединений. Методические указания по разделу курса «Детали машин». М.: МАМИ, 1979. 31 с.
11. Теумин И. Ультразвуковые колебательные системы, 1959. 332 с. 40
12. Физические основы ультразвуковой технологии. Под ред. Л. Д. Розенберга. М., Наука, 1970. 689 с.
13. Хажинский Г. М., Основы расчетов на усталость и длительную прочность 2016. 168 с.
14. Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка М., Машиностроение, 1972. 224 с.
15. Чечулин Б. Б. Титановые сплавы в машиностроении, 1977. 248 с.
16. Энгель Л., Клингел Г. Растровая электронная микроскопия. Разрушение: Справ. изд. М.: Metallurgy, 1986. 232 с.

17. Технология производства ЭВМ / А.П. Достанко, М.И. Пикуль, А.А. Хмыль: Учеб. - Мн. Выш. Школа, 2004 - 347с.
18. Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры. Учеб. пособие для ВУЗов / С.Е. Ушакова, В.С. Сергеев, А.В. Ключников, В.П. Привалов; Под ред. С.Е. Ушаковой. - М.: Радио и связь, 2002. - 256с.
19. Тявловский М.Д., Хмыль А.А., Станишевский В.К. Технология деталей и периферийных устройств ЭВА: Учеб. пособие для ВУЗов. Мн.: Выш. школа, 2001. - 256с.
20. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / А.М. Дольский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др.; Под ред. А.М. Дольского. - М.: Машиностроение, 2005. - 448с.
21. Зайцев И.В. Технология электроаппаратостроения: Учеб. пособие для ВУЗов. - М.: Высш. Школа, 2002. - 215с.
22. Основы технологии важнейших отраслей промышленности: В 2 ч. Ч.1: Учеб. пособие для вузов / И.В. Ченцов, И.А.