Смирнова, Ольга Германовна. Демпфирующая способность алюминиевых бронз перитектоидного состава : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.01.- Киров, 2000.- 119 с.: ил. РГБ ОД, 61 00-5/2794-2

На правах рукописи

Смирнова Ольга Германовна

Демпфирующая способность алюминиевых бронз перитектоидного состава

1. - Металловедение и термическая обработка металлов

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научные руководители: доктор технических наук,

профессор Кондратов В.М. кандидат технических наук, доцент Кочеткова Л.П.

Киров - 2000 г.

з

ОГЛАВЛЕНИЕ

[Введение 5](#bookmark2)

[Глава 1. Обзор литературы 8](#bookmark3)

* 1. [Демпфирующая способность металлических материалов 8](#bookmark4)
     1. [Основные положения и понятия 8](#bookmark5)
     2. [Основные механизмы рассеяния энергии в цветных сплавах .... 11](#bookmark6)

[1.2. Сплавы высокого демпфирования на основе цветных металлов 11](#bookmark7)

1. [Марганцево-медные сплавы 11](#bookmark8)
2. [Сплавы на основе титана 17](#bookmark9)
3. Алюминиевые бронзы мартенситного класса

[(сплавы с эвтектоидным превращением) 23](#bookmark11)

1. [Структура сплавов в равновесном состоянии 24](#bookmark12)
2. Структура сплавов в неравновесном состоянии 26

[А. Структура после закалки 26](#bookmark14)

Б. Структура после закалки и отпуска 29

1. [Демпфирующая способность алюминиевых бронз 34](#bookmark19)

Глава 2. Материал и методики исследований 37

1. Материал 37
2. [Методика исследования 43](#bookmark21)
3. Определение демпфирующей способности методом

свободных затухающих колебаний 43

1. [Микроскопические исследования 55](#bookmark23)
2. [Метод рентгеноструктурного анализа 55](#bookmark24)
3. [Механические испытания 56](#bookmark25)

Г лава 3. Результаты эксперимента 57

1. Демпфирующая способность сплавов 57
2. [Металлографические исследования бронз 67](#bookmark28)
3. [Рентгеноструктурные исследования 84](#bookmark30)
4. [Механические свойства 99](#bookmark31)
5. Оценка погрешностей параметров эксперимента

(определения демпфирующей способности) 100

1. [Определение предельных ошибок первичных величин 101](#bookmark33)
2. Определение предельных и среднеквадратичных

ошибок вторичных опытных данных 103

[Анализ результатов и выводы 107](#bookmark42)

Библиографический список использованной литературы 111

**ВВЕДЕНИЕ**

Усиливающаяся тенденция к увеличению скоростей современных машин и механизмов приводит к неизбежному росту вредных вибраций и шумов, по­вышению опасности разрушения деталей при прохождении колебаний системы через резонанс вследствие обычной и акустической усталости, понижению на­дежности работы механизмов и ухудшению условий труда.

Борьба с вибрациями и шумами является в настоящее время одной из ак­туальных проблем, важной практически для всех отраслей народного хозяйства и в первую очередь, для машиностроения, приборостроения и судостроения.

Эффективным, а в ряде случаев и единственно приемлемым способом уменьшения вредных вибраций и шумов, препятствия их распространению и снижения резонансных пиковых напряжений является использование для дета­лей машин и конструкций, работающих в динамическом режиме, сплавов с большим внутренним трением, так называемых сплавов высокого демпфирова­ния. Под последними подразумеваются сплавы, характеризующиеся относи­тельным рассеянием энергии (\|/) более чем 1 % [1].

Демпфирующую способность материалов необходимо учитывать при проектировании многих деталей узлов и механизмов, работающих в сложных вибрационных условиях, наряду с такими общепринятыми характеристиками, как пределы прочности, текучести, выносливости и т.д. При прочих равных ус­ловиях деталь из сплава, обладающего высоким демпфированием, окажется более надежной при значительной вибрационной нагрузке и ударе, чем та же деталь, изготовленная из сплава, не обладающего этим свойством. Благодаря высокому внутреннему трению, свободные колебания конструкций быстро за­тухают, значительно снижаются амплитуды вынужденных колебаний в резо­нансном режиме, резко снижаются напряжения от импульсов и ударов в конст­рукциях с большим числом степеней свободы и происходит выравнивание ди­намических напряжений в местах их концентраций. Чем больше внутреннее трение в конструкции, тем она надежнее в работе при динамических воздейст­виях.

Преимуществами гашения колебаний с помощью сплавов высокого демпфирования являются простота (отпадает надобность в специальных, по­рою довольно сложных виброгасящих устройствах), практическая независи­мость эффекта демпфирования от частоты и, как правило, достаточно широкая область рабочих температур.

Несмотря на большую важность для промышленности сплавов высокого демпфирования, их только начали использовать. Разработка и исследование сплавов высокого демпфирования, обладающих хорошими прочностными и другими физико-механическими характеристиками, является одной из актуаль­нейших задач для металлургов и металловедов.

Особую значимость и актуальность в настоящее время имеют разработки, посвященные задаче выявления и использования на практике всех потенциаль­но заложенных в сплавах эксплуатационных свойств. Например, в работах [2-5] показана возможность обеспечения высокого уровня демпфирующей способ­ности путем применения специальной термической обработки в стандартных конструкционных титановых сплавах, традиционно считавшихся сплавами с низкой демпфирующей способностью.

Среди перспективных конструкционных сплавов высокого демпфирова­ния важное место занимают сплавы системы Cu-АІ - алюминиевые бронзы. Эти сплавы технологичны, обладают высокой коррозионной стойкостью на возду­хе, в морской воде и в некоторых агрессивных средах, высоким сопротивлени­ем кавитации. Сплавы этой системы с содержанием алюминия 9,5-13 % после закалки на мартенсит характеризуются высоким уровнем демпфирующей спо­собности. Однако в закаленном состоянии у сплавов этого состава очень малая пластичность, что практически не дает возможности их широкого использова­ния [6].

Целью данной работы является глубокое изучение механизмов рассеяния энергии в медных сплавах (бронзах типа Cu-Al-Ме) с мартенситным превраще­нием и разработка рекомендаций по определению состава и термической об­работке бронз системы Cu-Al-Ме, обладающих высоким демпфированием при удовлетворительных стандартных эксплуатационных свойствах (прочность, пластичность, и др.).

Задачами работы являются:

1. Исследование структуры и фазового состава (близкого к перитектоид- ному) бронз мартенситного класса системы Cu-Al-Ме после различных видов термической обработки.
2. Исследование механизмов рассеяния энергии при механическом на­гружении сплавов.
3. Исследование зависимости демпфирующей способности от химиче­ского состава и режима термической обработки сплавов.
4. Определение структуры сплавов, обеспечивающей высокий уровень демпфирования, и методов получения этой структуры путем термиче­ской обработки.
5. Разработка рекомендаций по определению состава и термической об­работки, обеспечивающих высокий уровень демпфирующей способно­сти в Cu-Al-Ме бронзах при удовлетворительном комплексе эксплуа­тационных характеристик.
6. Определение направления последующих научно-исследовательских работ по созданию промышленных сплавов высокого демпфирования на основе системы медь-алюминий.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализ результатов исследования структуры алюминиевой бронзы (в ли­том и деформированном состоянии) и ее изменение при предварительной тер­мической обработке показал, что исследуемые сплавы в литом состоянии обла­дают хорошей технологичностью и повышенным демпфированием, что позво­ляет рекомендовать последние как литейный демпфирующий материал.

Диффузионный отжиг при температуре 900 °С продолжительностью 5 ч значительно уменьшает дендритную неоднородность, хотя и не устраняет ее полностью. В результате диффузионного отжига увеличивается пластичность сплава, что существенно облегчает проведение операций обработки литых за­готовок давлением. Проведенные исследования показали, что однородную структуру можно получить только со степенью деформации не менее 80% и по­следующего диффузионного отжига при температуре 900 °С в течение не менее

Результаты и анализ экспериментов свидетельствуют о том, что в зависи­мости от режима закалки образуются различные типы структур, обусловли­вающие и различный уровень демпфирования.

Максимальный уровень демпфирования соответствует сплавам после за­калки от 850 °С, дальнейшее повышение, как и понижение, температуры закал­ки не приводит к увеличению демпфирующей способности.

Структура закаленных на максимальный уровень демпфирования образ­цов представляет собой мелкие и тонкие иглы мартенсита. При электронно­микроскопических исследованиях выявлено наличие микродвойников в иглах мартенсита.

Анализ результатов проведенного комплексного исследования демпфи­рующей способности алюминиевых бронз после различных видов термической обработки, микроструктуры и параметров рентгеноструктурных исследований чрезвычайно важен для разработки конструкционных алюминиевых бронз или сплавов высокого демпфирования.

Согласно разрабатываемой теории высокого рассеяния энергии в цветных сплавах, мартенситное превращение неплотноупакованной ОЦК-решетки в плотноупакованную орторомбического типа идет в два этапа. В начале по ме­ханизму двойникования ОЦК решетка превращается в гранецентрированную орторомбическую решетку, затем путем перетасовки плотноупакованных плос­костей образуется плотноупакованная орторомбическая решетка, тип которой зависит от порядка укладки вышеназванных плоскостей, полученной в резуль­тате перетасовки.

Кристаллография описанного мартенситного превращения в алюминие­вых бронзах подобна характеру мартенситного превращения в титановых спла­вах и подробно изложена в [1].

Высокий уровень демпфирования в закаленных на мартенсит бронзах может быть обусловлен целым рядом механизмов рассеяния энергии. Ими мо­гут быть: обратимое двойникование подобно титановым сплавам, двойникова- ние по базисной плоскости вследствие моноклинного искажения оси Z к базис­ной плоскости на 1-2 % [49], подвижные дислокации Шокли, обусловленные дефектами упаковки, изменением порядка укладки чередования базисных плос­костей [6].

Анализ результатов эксперимента по фазовым превращениям в закален­ной на мартенсит алюминиевой бронзы показал, что распад мартенсита начина­ется уже при нагреве до 100 °С. Согласно данным рентгеноструктурного анали­за при распаде мартенсита образуется кубическая ОЦК решетка Pi-фазы. При низкотемпературном распаде мартенсита (100-300 °С) для бронз плавки 1 и 2 демпфирующая способность резко падает.

Дальнейший нагрев до 400-450 °С приводит к диффузионному распаду Р г фазы на a-фазу и перитектоидную у-фазу, имеющими ГЦК решетку. Рентге­ноструктурный анализ бронз после отжига (850 °С) и высокотемпературного отпуска (450-500 °С) показал структуру, состоящую из а- и у-фаз. Схема распа­да может быть записана в виде: р/^р^он-у.

Демпфирующая способность исследуемых бронз (плавка 1 и 2) оказа­лась различной. Бронза с меньшим содержанием легирующих элементов (плав­ка 2) и в отожженном состоянии, и после закалки и последующего высокотем­пературного отпуска показала низкий уровень рассеяния энергии. Бронза с большим содержанием легирующих элементов, напротив, показала высокий уровень демпфирования, выше, чем в закаленном состоянии. При этом для бронзы (плавки 1) у-фаза характеризуется расщеплением дифракционных мак­симумов (111) и (200), что говорит о наличии тетрагонального искажения. По­явление тетрагональности у-фазы вызывает резкое увеличение демпфирующей способности. В этом случае высокая демпфирующая способность обусловлена таким же механизмом, как и для сплавов на Cu-Mn-основе, а именно обрати­мым двойникованием с плоскостью (101) или (011) (см.главаї, рис.4).

В относительно низколегированном сплаве (плавка 1) раздвоение ди­фракционных максимумов не наблюдается, тетрагональное искажение исход­ной кубической решетки отсутствует, поэтому уровень демпфирующей способ­ности низок.

Этот несколько неожиданный результат позволяет нам наметить план дальнейших работ по разработке сплавов высокого демпфирования на основе алюминиевой бронзы.

Подобно тому, как в Cu-Mn сплавах степень тетрагональное™ гранецен- трированной решетки зависит от состояния сплава, в частности, от количества марганца, аналогичная зависимость должна иметь место и для алюминиевых бронз.

Представляется целесообразным исследовать Cu-Al-сплавы мартенситно- го класса с повышенным содержанием легирующих элементов, растворимых в матрице, например, цинка и марганца, т.е. установить химический состав у- фазы, способной к тетрагональному искажению решетки.

В результате проведенной работы были получены новые результаты, имеющие практический и теоретический интерес:

1. Проведено исследование структуры, демпфирующей способности и механических свойств бронз на основе Си-10А1 с различной степенью легированности.
2. Установлена зависимость демпфирующей способности от структурно­го состояния исследуемых бронз, т.е. от различных видов термической обработки.
3. Проведенный рентгеноструктурный анализ позволил в корректной форме установить механизм высокой демпфирующей способности ис­следуемых сплавов.
4. Показана возможность получения высокого уровня демпфирования в алюминиевых бронзах как непосредственно после закалки, так после закалки и последующего высокого отпуска. Последний результат явля­ется новым в металловедении. Во всех предыдущих исследованиях вы­сокое демпфирование было обнаружено только в закаленных сплавах.
5. Дано объяснение высокого демпфирования как после закалки и после­дующего высокого отпуска, так и в отожженном состоянии, что также является новым.
6. Установлено, что высокий уровень рассеяния энергии в алюминиевых бронзах после отжига, а также после закалки и последующего высоко­температурного отпуска связан с появлением в структуре перитектоид- ной у-фазы, имеющей тетрагональное искажение.
7. Показана необходимость дальнейших работ по исследованию и разра­ботке сплавов высокого демпфирования на Cu-АІ основе. В частности, представляется целесообразным исследование сплавов с повышенным уровнем легирования, имеющих различную степень тетрагональности, что позволит разработать оптимальный состав сплава с высоким демп­фированием.

Библиографический список используемой литературы

1. Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Рахштадт А.Г. Металловедение высоко- демпфирующих сплавов,- М.: Металлургия, 1980.- 272 с.
2. Фавстов Ю.К., Самойлов Ю.А. Демпфирующая способность титано­вых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов,-
3. -N9.-C. 29-30.
4. Пат. США, кл. 75/175.5 (622 С14/00, С21 Д1/00) N4134758, заявлено 26.04.77, N790944, опубл. 19.01.79, приоритет 28.04.76. N51-49056. (Япония).
5. Пат. США, кл. 148/133 (C22F1/18), N4167427, заявлено 17.10.77, N 843251, опубл. 11.09.79, приоритет 25.05.77. N52-60792. ( Япония).
6. Заявка, кл. 22 С14/00, СІ4/00, 622, F1/16 N56-3645, заявлено 21.06.79. N54-77501, опубл. 14.01.81. (Япония).
7. Матвеев В.В., Ярославский Т.Я., Чайковский Б.С., Кондратьев С.Ю. Сплавы высокого демпфирования на медной основе.- Киев: Наук, дум­ка, 1986.- 208 с.
8. Фавстов Ю.К. Рассеяние энергии при колебаниях упругих систем.- Киев: Наук, думка, 1968. -252с.
9. Гранато А., Люкке К. Дислокационная теория поглощения. // Ультра­звуковые методы исследования дислокаций. -М.: Иностр. лит. , 1963.- С. 27-57.
10. Блантер М.С., Пигузов Ю.В., Ашмарин Г.М. и др. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях,- М.: Металлургия, 1991. -

248 с.

1. Sugimoto К. Basic and applied research on high-damping alloys for application to noise control // Mem. InstSci. and Ind. Res..- 1978.- N 1- P. 31-44.
2. Сугимото К. Современные достижения в производстве высокодемпфирующих сплавов // Тетсу то хагане.- 1974.- N 60.- С. 127-144.
3. Такахара Хидэфуса. Материалы для защиты от шума // Кагаку то ко- ге,- 1975.-N11.- С. 828-831.
4. Sugimoto К., Mori Т. Internal friction peak associated with phase trans­formation in Mn-Cu alloys // In. Internal friction and ultrasonic attenuation cryst. solids: Proc. South Int. Conf., 1973. Aachen. Berlin etc.- 1975. Vol.
5. -P. 418-425.
6. Ritchie J., G., Pan Z-L. High-damping metals and alloys. // Met. Trans. A. -1991.- N3-. P. 607-616.
7. Сугимото К. Сплавы высокого демпфирования: Обзор основных про­блем и применения.// Нихон киндзоку гаккай кайхо.- 1975.- N 1,- С. 177-183.
8. Kainuma R., Takahashi S., Ishida К. Thermoelastic Martensite and Shape Memory Effect in Ductile Cu-Al-Mn Alloys. // Met. And Mater. Trans. A..- 1996.-P. 2187-2195.
9. Салли А. Марганец,- М.: Металлургиздат, 1959-296 с.
10. Obrado Е., Manosa L., Planes A. Stability of the bcc phase of Cu-Al-Mn shape-memory alloys. //Physical Rev.B.V 56. - 1997.-№1- P.20-23.
11. Винтайкин E.3., Литвин Д.Ф., Удовенко В.А. Тонкая кристаллическая структура в сплавах марганец-медь высокого демпфирования. // Физика металлов и металловедение. -1974,- N6.-C. 1228-1237.
12. Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Сплавы с высокоми демпфирующими свойствами.- М.: Металлургия,-1973.- 255 с.