

**Министерство образования Российской Федерации
Томский государственный
архитектурно-строительный университет**

СПЛАВЫ АЛЮМИНИЯ

Методические указания

**Составители: В.П. Першин
Р.А. Козырева**

Томск 2008

Сплавы алюминия: методические указания / Сост. В. П. Першин, Р. А. Козырева. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. –13 с.

Рецензент ст. преп. Р. А. Козырева
Редактор Е. Ю. Глотова

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Технология конструкционных материалов» для студентов специальностей 270205, 270112, 190205, 190601, 270113, 270109, 270201, 150405, 250403, 270102, 270106 всех форм обучения.

Печатаются по решению методического семинара кафедры общего материаловедения и технологии композиционных материалов № 4 от 8.02.2008.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе В.В. Дзюбо

с 01.04.2008
до 01.04.2013

Подписано в печать. *01.04.2008*
Формат 60х90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс, печать офсет.
Уч.-изд. л. 0,7. Тираж 200 экз. Заказ № *139*

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомить студентов с классификацией алюминиевых сплавов, изучить практику термической обработки дуралюмина и ее влияние на его механические свойства.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1. Алюминий

Al – распространенный элемент, не имеющий полиморфных превращений. И после кристаллизации ($t_{пл}$ 660 °С) образует кубическую гранцентрированную кристаллическую решетку. Алюминий – легкий металл ($\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$) обладает высокой коррозионной стойкостью, высокой электро- и теплопроводностью, хорошим светоотражением. Эти показатели и определяют специальные области применения проката технически чистого алюминия, обозначаемого индексами АД. Такой материал обладает высокой пластичностью $\delta > 30 \%$, но невысокой прочностью $\sigma_{(в)} \sim 100 \text{ МПа}$, $\sigma_{(т)} \sim 15 \text{ МПа}$, его модуль упругости $|E|$ значительно уступает сплавам железа.

Кроме случаев узкоспециального применения, сплавы АД0, АД1 используют для малонагруженных элементов строительных конструкций широкого назначения в виде проката различных профилей, когда требуются высокие эксплуатационные и технологические свойства.

Более высокими показателями конструкционной прочности обладают различные сплавы на основе алюминия.

2.2. Классификация алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы имеют широкое применение во всех областях машиностроения и в строительстве. Эффективность их использования обеспечивают достаточно высокая кон-

структурная прочность при малом весе изделий, высокая коррозионная стойкость, хорошие технологические свойства.

В качестве легирующих элементов для сплавов алюминия применяют металлы, образующие твердые растворы и химические соединения. В числе наиболее употребляемых элементов следует назвать: *магний, медь, кремний, марганец, никель, железо.*

В зависимости от структурного состава, основных способов переработки в изделия все технические алюминиевые сплавы делятся на:

1) *деформируемые* – применяемые в прессованном, катаном, кованом видах;

2) *литейные* – применяемые в литом состоянии;

3) *спеченные* – сплавы, получаемые порошковой металлургией. Границей между деформируемыми и литыми сплавами является предел насыщения (α) твердого раствора при эвтектической температуре (см. рис. 1).

Сплавы, лежащие за пределом насыщения и имеющие в структуре эвтектику, являются литейными. Затвердевание с постоянной температурой при образовании эвтектики обеспечивают им хорошие литейные свойства (жидкотекучесть).

Сплавы, лежащие до предела насыщения, у которых при нагреве можно получить лишь однофазную структуру (α) твердого раствора (см. рис. 1), обладают высокой пластичностью в нагретом состоянии. Они хорошо куются, прокатываются, пресуются, свариваются. При понижении температуры падает растворимость легирующих элементов в алюминии.

Сплавы (1), у которых концентрация компонентов меньше предела растворимости при комнатной температуре, термообработкой не упрочняются и могут быть упрочнены только нагартовкой, т. е. холодной деформацией.

Сплавы (2) с большей концентрацией компонента, имеющие структуру (α) твердого раствора и избыточной фазы, могут быть термически упрочнены.

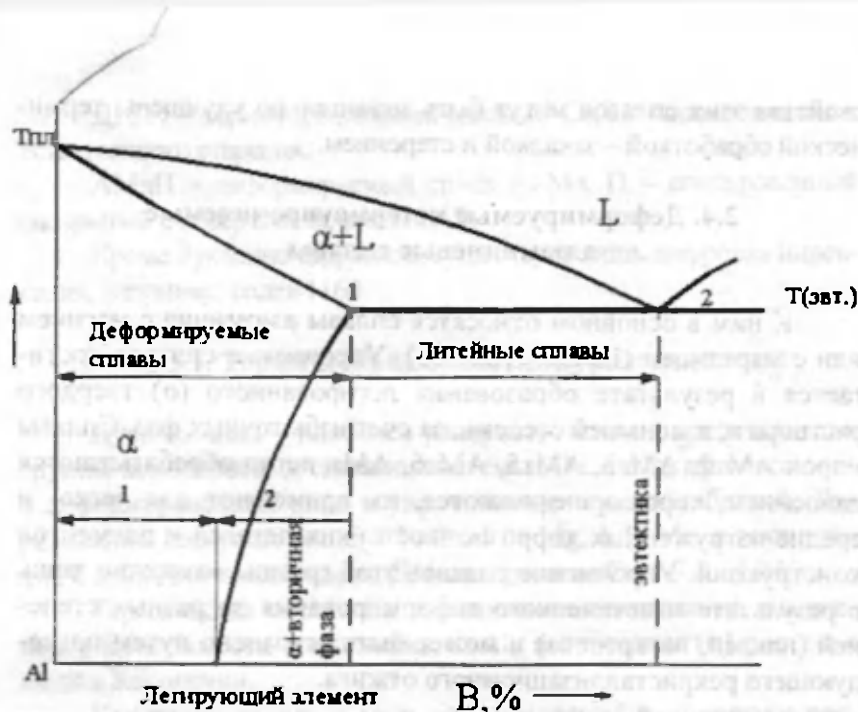


Рис. 1. Классификация алюминиевых сплавов по диаграмме состояния: *Al* – легирующий элемент; 1 – сплавы, не упрочняемые термической обработкой; 2 – сплавы, упрочняемые термической обработкой

2.3. Литейные алюминиевые сплавы

Наиболее известны сплавы системы Al-Si, получившие название силуминов. Типичными силуминами являются эвтектические сплавы марки АЛ2, АЛ4, содержащие 10...13 % Si. Большое упрочнение сплавов достигается модифицированием натрием, который присутствует в смеси солей 2/3 NaF и 1/3 NaCl, вводимой в жидкий расплав. В двигателестроении имеют применение сплавы с меньшим содержанием кремния, но, в основном, дополнительно легированные медью, железом, цирконием, которые обеспечивают большую механическую и жаропрочность. Это сплавы АЛ15, АЛ19, АЛ33. Большая коррозионная стойкость у сплавов АЛ8, АЛ22, АЛ24. Механические и другие

свойства этих сплавов могут быть значительно улучшены термической обработкой – закалкой и старением.

2.4. Деформируемые нетермоупрочняемые алюминиевые сплавы

К ним в основном относятся сплавы алюминия с магнием или с марганцем (ГОСТ 4784-97*). Упрочнение сплавов достигается в результате образования легированного (α) твердого раствора и, в меньшей степени, за счет избыточных фаз. Сплавы марок АМг2, АМг3, АМг5, АМгб, АМц легко обрабатываются давлением, хорошо свариваются, их применяют для легко- и средне-нагруженных коррозионностойких деталей и элементов конструкций. Упрочнение сплавов этой группы возможно лишь в результате пластического деформирования до разных степеней (наклеп, нагартовка) и может быть устранено путем последующего рекристаллизационного отжига.

2.5. Деформируемые термоупрочняемые алюминиевые сплавы

Многие деформируемые сплавы упрочняются закалкой и последующим старением. В зависимости от химического состава и способов переработки в изделия эти сплавы разделяются на:

- 1) *дуралюмины*, например, сплавы Д16, Д18, Д19, Д1;
- 2) *высокопрочные алюминиевые сплавы*, например, сплавы марок В95, В93, В96Ц1;
- 3) *алюминиевые сплавы дляковки и штамповки*, например, марки АК6, АК8.

В зависимости от вида и состояния материала и полуфабрикатов изделий алюминиевых сплавов, кроме указания марки, вводят дополнительную буквенно-цифровую индексацию; например:

АД1М – технический алюминий, М – отожженный;

АМгН2 – деформируемый сплав Al-Mg; Н – нагартованный;

Д16Т1 – термоупрочняемый сплав Al-Cu, Т1 – после закалки и естественного старения;

АМцП – деформируемый сплав Al-Mn, П – плакированный (покрытый с поверхности чистым Al).

Кроме буквенно цифровой, существует лишь цифровая индексация, например, сплав 1160.

2.5.1. Термическая обработка дуралюмина

Дуралюмины – наиболее распространенные представители группы алюминиевых сплавов, системы Al-Cu-Mg, применяемые в деформированном виде и упрочняемые термообработкой. Дуралюмины содержат около 4 % Cu, 1 % Mg, 1 % Mn, а также доли Fe и Si. Для сплава марки Д16 содержание Cu \approx 3,8...4,9 %.

Термическая обработка дуралюмина основана на изменении растворимости соединения CuAl_2 в основном (α) растворе меди в алюминии.

Как видно из рис. 2, медь при комнатной температуре растворяется в алюминии лишь в количестве около 0,5 %, а максимальная растворимость при эвтектической температуре 548 °С – 5,7 %. Любой сплав, содержащий более 0,5 и до 5,7 % Cu, соответствующим нагревом можно перевести в однофазное состояние (т. е. вторичные кристаллы соединения могут быть переведены в (α) – твердый раствор). Это состояние можно зафиксировать быстрым охлаждением, например, в воде. Полученный таким образом твердый раствор, при содержании в нем меди более 0,5 % является перенасыщенным. *Процесс нагрева до (α) состояния и последующее быстрое охлаждение в воде – закалка сплава.*

В таком пересыщенном и неустойчивом твердом растворе при выдержке происходят изменения, приводящие к большей концентрации Cu в отдельных областях и последующему выделению соединения CuAl_2 . Этот процесс называется старением. Если процесс происходит при комнатной температуре, то он называется *естественным старением*, а если при искусствен-

ном повышении температуры. – то *искусственным старением*. Таким образом, мы видим, что термообработка дуралюмина складывается из двух циклов – закалки и старения.

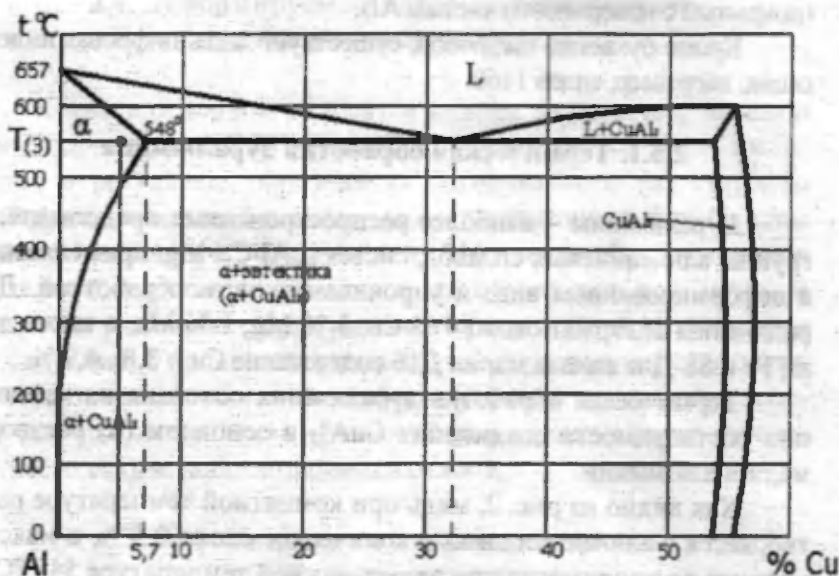


Рис. 2. Диаграмма сплавов Al-Cu

В отожженном состоянии для алюминий-медного сплава с 4 % Cu (т. е. при испытании сразу после закалки) предел прочности составляет примерно $\sigma_B \sim 25 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ (250 МПа). После старения предел прочности значительно возрастает и достигает $\sigma_B \sim 40 \text{ кгс} / \text{мм}^2$ (400 МПа).

При естественном старении ($t = 20^\circ \text{C}$) приобретение максимальной прочности наблюдается через 4...5 суток после закалки. Начальный период, характеризующийся отсутствием или весьма слабым повышением прочности, называется инкубационным. Инкубационный период имеет важное технологическое значение, так как в этот момент сплав обладает большой способностью к пластической деформации и закаленные детали могут подвергаться разнообразным технологическим операци-

ям, связанным с деформацией (расклепка заклепок, гибка, отбортовка и т. д.). Через два-три часа способность пластически деформироваться начинает резко уменьшаться, и эти операции становятся неосуществимыми.

Скорость старения сильно зависит от температуры: повышение температуры вызывает ускорение процесса. Однако получаемая максимальная прочность тем ниже, чем выше температура старения. Кроме того, при температурах выше 150 °С явно отмечается быстрое разупрочнение сплава при выдержке сверх той, которая вызывает максимальное упрочнение, и тем скорее, чем выше температура. При температуре ниже комнатной старение замедляется и при -50 °С можно считать, что закаленное состояние практически устойчиво и старение не происходит. На рис. 3 приведены кривые изменения прочности и твердости при старении для различных температурных режимов.

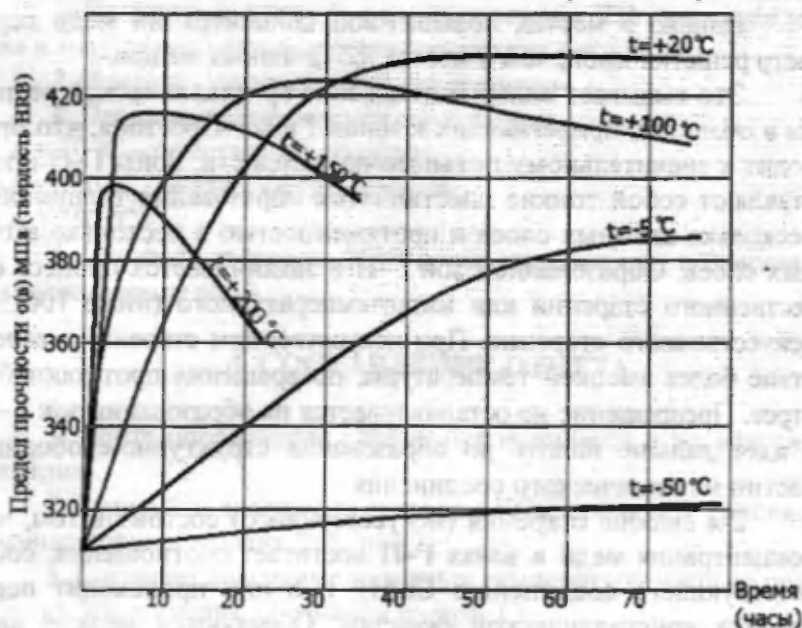


Рис. 3. Изменение прочности (твердости) при старении закаленного дуралюмина с различными температурами нагрева

Рассмотрим природу структуроизменений происходящих в закаленном сплаве при старении. В начальном периоде естественного старения происходят подготовительные процессы к выделению из пересыщенного α -раствора избыточной меди в виде соединений CuAl_2 . Само же выделение может произойти лишь при температурах, обеспечивающих достаточную скорость диффузии. Разделим весь процесс старения на стадии.

1-я стадия состоит в том, что в свежезакаленном сплаве атомы меди собираются в отдельных местах кристаллической решетки α пересыщенного твердого раствора.

В результате этого процесса внутри кристаллитов образуются зоны повышенной концентрации меди, так называемые зоны Гинье–Престона (Г–П). Т. к. атомы меди на этой стадии из раствора не выделялись, то и среднее значение параметра решетки значительно не изменилось.

Однако в местах повышенной концентрации меди параметр решетки иной, чем в местах, обедненных медью.

Это вызывает сильное искажение кристаллической решетки в областях, прилегающих к зонам Гинье–Престона, что приводит к значительному повышению твердости. Зоны Г–П представляют собой тонкие пластинчатые образования толщиной в несколько атомных слоев и протяженностью в несколько атомных слоев. Образованием зон Г–П и заканчивается процесс естественного старения или низкотемпературного (ниже 100°C) искусственного старения. При искусственном старении, вследствие более высокой температуры, превращения протекают быстрее. Превращение не останавливается на образовании зон Г–П, а идет дальше вплоть до образования структурно-свободных частиц металлического соединения

2-я стадия старения (искусственного) состоит в том, что концентрация меди в зонах Г–П достигает соотношения, соответствующего соединению CuAl_2 , и в них происходит перестройка кристаллической решетки. Образуются мелкие кристаллы новой фазы (фазы Вассермана), имеющие решетку, отличную от решетки твердого раствора, но тесно связанную с ней.

3-я стадия состоит в том, что при длительных выдержках 200 °С или при более высоких температурах происходит отрыв решетки соединения CuAl_2 от решетки твердого раствора.

Максимальное упрочнение обычно соответствует первой и второй стадиям. Третья стадия старения вызывает значительное разупрочнение сплава.

3. ОБОРУДОВАНИЕ

Электропечь ПМ-1,0-7, термopара гр. ХА с гальванометром, твердомер ТК 2М.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с данным методическим указанием.
2. Провести закалку образцов дуралюмина Д16 при охлаждении в воду с температуры нагрева и выдержки $t_n = 520$ °С.
3. Измерить твердость НРВ после закалки.
4. Произвести старение при температурах нагрева:
 - 1) $t_n = 20$ °С – естественное старение;
 - 2) $t_n = 120$ °С – искусственное старение;
 - 3) $t_n = 250$ °С.
5. Измерить твердость НРВ после старения при выдержках согласно данным рис.3.

5. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Дайте определение алюминиевых сплавов и их классификацию.
2. Зарисуйте диаграмму сплавов Al-Cu, проведите сечение с концентрацией сплава Д16 (рис.2).
3. Согласно диаграмме назначьте температуру нагрева под закалку этого сплава, обозначив точкой ТЗ.
4. Подготовьте и внесите необходимые данные в таблицу.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите классификацию алюминиевых сплавов.
2. На каких превращениях основана закалка дуралюмина?
3. Какая структура получится после закалки дуралюмина?
4. Что называется старением?
5. Что происходит при естественном старении?
6. Что происходит при искусственном старении?

Изменение твердости при различных температурах старения Al сплав D 16

Марка алюминиевых сплавов	Температура нагрева под закалку, °С	Температура нагрева при старении, °С	Твердость после термообработки, HRB	Структура после термообработки
D16	520	После закалки	—	—
D16	520	250	—	—
D16	520	120	—	—
D16	520	20	—	—

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Под ред. Г.П. Фитисова. – М.: Высшая школа, 2007. – 861 с.
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М.: Высшая школа, 2004. – 518 с.

СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев, А.П. Материаловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, – 542 с.
2. Применение алюминиевых сплавов: справочник. – М.: Металлургия, – 340 с.