



КУРС «Материаловедение»

Тема: Алюминий и его сплавы

Казачков Олег Владимирович, доцент, к.т.н.

Институт лесных, инженерных и строительных наук,
кафедра технологических и транспортных машин и оборудования
kaz @ psu.karelia.ru



План лекции

1. Историческая справка
2. Алюминий и его свойства
3. Стадии производства алюминия
4. Классификация алюминиевых сплавов
5. Деформируемые сплавы
6. Литейные сплавы
7. Порошковые сплавы
8. Основные выводы
- Список литературы



Историческая справка



Гемфри Дэви (1778-1829)

- Английский химик и физик
- Президент Лондонского Королевского общества(1820), почетный член Петербургской академии наук(1826)
- Получил 6 металлов: калий, натрий, барий, кальций, магний, стронций
- Доказал в 1808 г. существование алюминия и дал ему имя
- Основоположник современной алюминиевой промышленности

Историческая справка

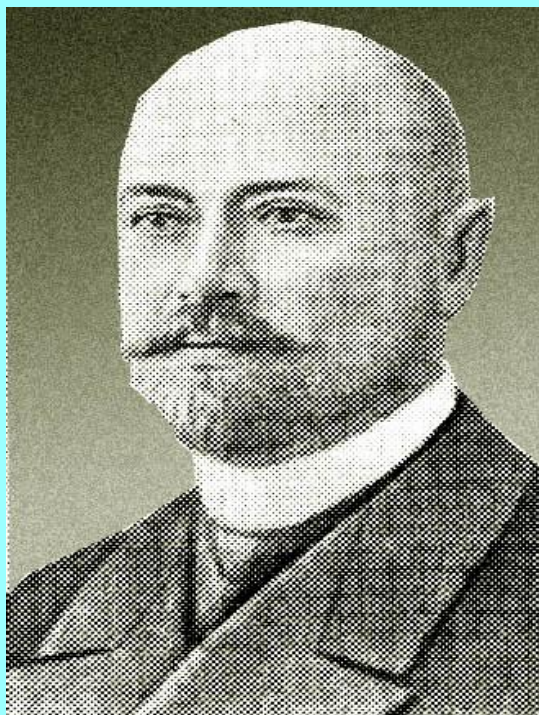


**Ханс Христиан Эрстед
(1777-1851)**

- Датский физик, почетный член Петербургской академии наук (1830)
- Основатель электродинамики и электротехники
- Установил связь между магнитными и электрическими явлениями
- В 1825 г. впервые получил алюминий, загрязненный калием и ртутью - «комочки металла по цвету и блеску похожие на олово»



Историческая справка



Павел Павлович Федотьев
(1864-1934)

- **Выдающийся Российский электрохимик и металлург**
- **Основоположник электрометаллургических процессов в области производства алюминия**
- **Создатель отечественной алюмин. промышленности**
- **27.03.1929 под его руководством на заводе «Красный выборжец» получено 8 кг первого отечественного алюминия**



Историческая справка

- В 1903 г. нем. Материаловед Альфред Вильм получил сплав – дуралюмин
- В 1920г. в СССР Буталов В.А. разработал прототип этого сплава – кольчугоалюминий
- В 1920 г. Аладаром Пачем (США) был открыт силумин, названный в Америке альпаксом
- В 1920г. Джефрис В. и Арчер Р. (США), Савватий Воронов (СССР) разработали авиали (сплав $Al-Mg-Si$)



Это интересно

- *У русских химиков алюминий назывался «алумием» (Ф.Гизе, 1813), затем «алюмминием»(1820), «глинием»(1834), с 1862 «алюминием». Знак алюминия был неизменно **AL**.*

С использованием алюминиевых сплавов

В 1896 году было построено здание (г. Монреаль)

В 1900 году был построен первый дирижабль (Ф. Цеппелин, Германия)

В 1913 году был построен первый автомобиль (Австрия)

В 1916 году был построен первый самолет (Луи Шарль Бреге, Франция))

1956 год первая пивная банка, первая винтовая пробка

1896 год первый зубной тюбик



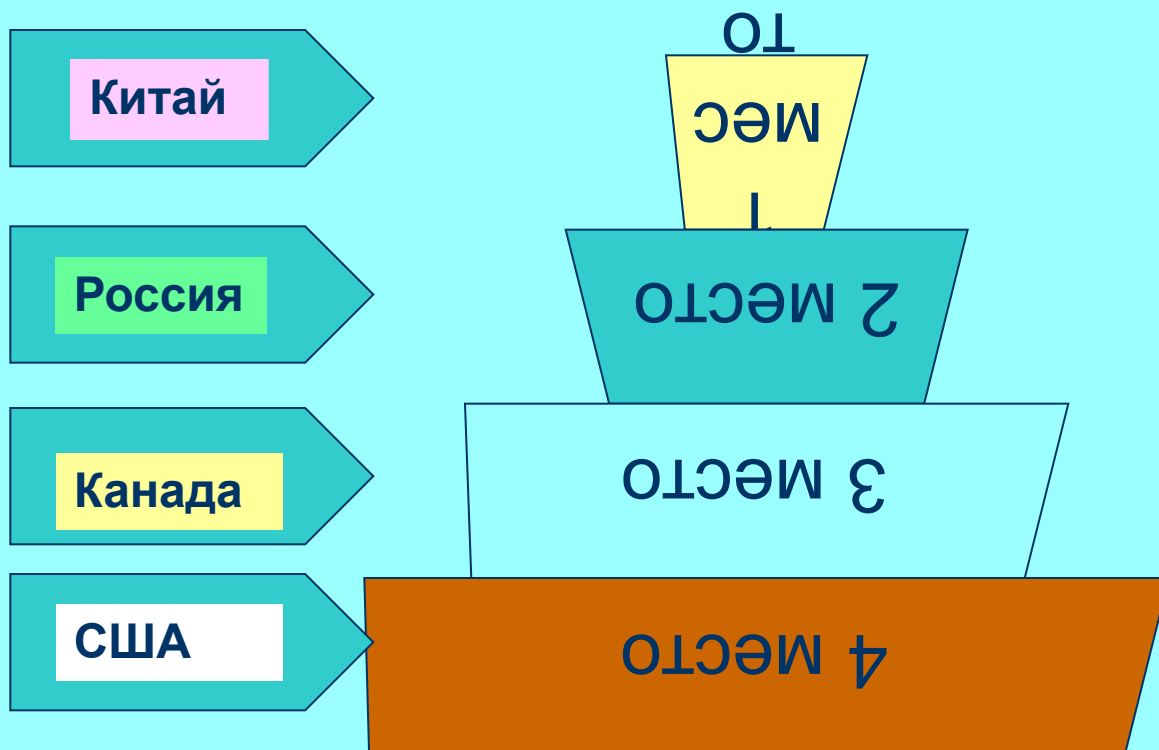
Алюминий и его свойства



- Плотность – $2,7 \text{ г/см}^3$
- Температура плавления – $660 \text{ }^\circ\text{C}$
- Решетка – ГЦК, $a = 0,404 \text{ нм}$
- Хорошая коррозионная стойкость, электропроводность
- Маркировка:
- А999, А995, А99, А85, А8, А7, А5, А0
- Технический ал. АД0, АД1

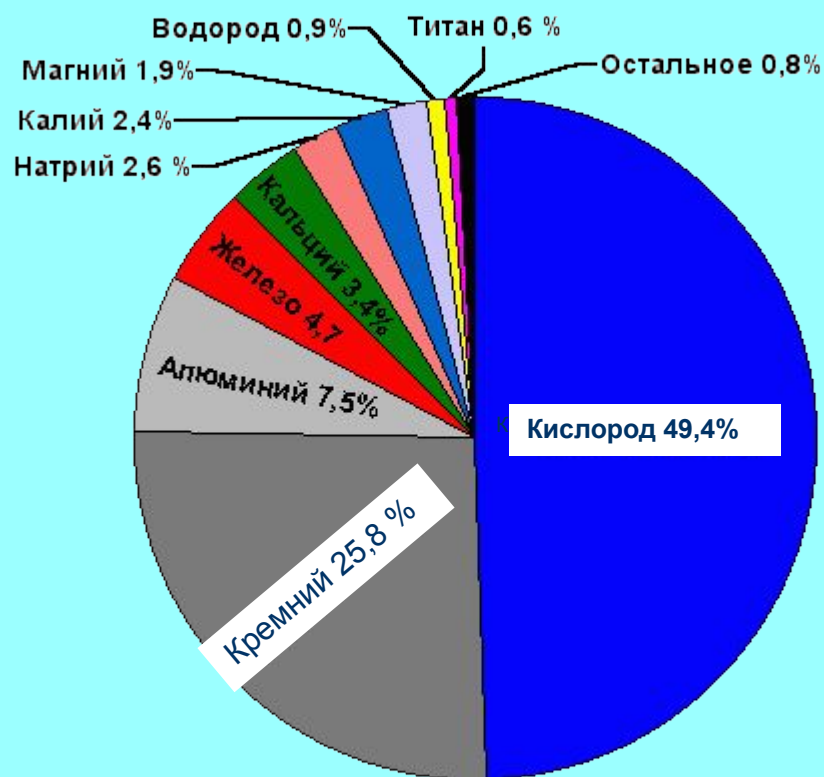


Производство алюминия в мире





Распространенность хим. элементов в земной коре





Структура потребления алюминия в России в 2006 году





Стадии производства алюминия

1. Добыча руды(бокситов)
2. Переработка руды в глинозем
3. Получение первичного алюминия

Для получения 1т алюминия необходимо:

- Глинозема 1930 кг
- Углерода для анода 600 кг
- Криолита 70кг
- Электроэнергии 17500 кВт ч

Классификация алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы

- Деформируемые (термически упрочняемые, термически неупрочняемые)
- Литейные





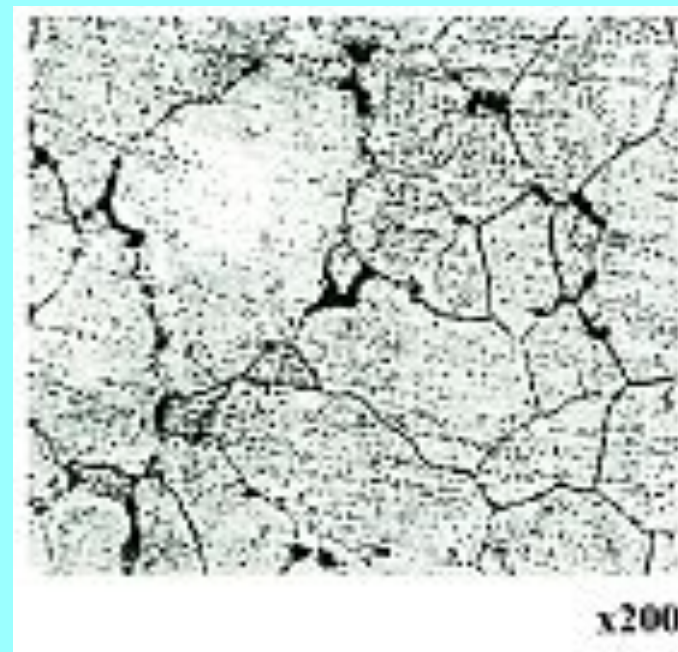
Деформируемые термически неупрочняемые сплавы

Хим. состав и мех. свойства сплавов

| марка сплава | содержание, % | | σ_B , МПа | δ , % |
|--------------|---------------|---------|------------------|--------------|
| | Mg | Mn | | |
| АМц | <0,2 | 1,0-1,6 | 130 | 23 |
| АМг1 | 0,7-1,6 | <0,2 | 110 | 28 |
| АМг2 | 1,8-2,6 | 0,3-0,6 | 200 | 23 |
| АМг3 | 3,2-3,8 | 0,3-0,6 | 220 | 23 |
| АМг5 | 4,8-5,8 | 0,3-0,8 | 300 | 20 |
| АМг6 | 5,8-6,8 | 0,5-0,8 | 340 | 18 |

Пластичные, коррозионностойкие, свариваемые

Микроструктура Мг1



Деформируемые термически упрочняемые сплавы



Дуралюмины (сплавы системы AL-Cu-Mg- Mn)

Химический состав и механические свойства сплавов

| марка сплава | содержание, % | | | термическая обработка | $\sigma_{\text{н}}$, МПа | δ , % |
|--------------|---------------|---------|---------|--|---------------------------|--------------|
| | Cu | Mg | Mn | | | |
| Д1 | 3,8-4,8 | 0,4-0,8 | 0,4-0,8 | Закалка от 500-505°C + естественное старение | 400 | 20 |
| Д16 | 3,8-4,9 | 1,2-1,8 | 0,3-0,9 | Закалка от 495-505°C + естественное старение | 440 | 18 |
| | | | | Закалка от 495-505°C + старение 190°C, 12ч | 440 | 16 |

- Характеристика: высокая прочность при достаточной пластичности, хорошая свариваемость точечной сваркой, малая плотность, удовлетворительная обрабатываемость резанием, низкая коррозионностойкость



Деформируемые термически упрочняемые сплавы

Авиали (сплавы системы AL-Mg- Si)

Химический состав и механические свойства сплавов

| марка сплава | содержание, % | | | | термическая обработка | $\sigma_{в}$, МПа | δ , % |
|--------------|---------------|---------|-----------|---------|--|--------------------|--------------|
| | Cu | Mg | Mn | Si | | | |
| АД31 | <0,1 | 0,4-0,9 | <0,1 | 0,3-0,7 | Закалка от 510-530°C + естественное старение | 170 | 22 |
| | | | | | Закалка от 510-530°C + старение 170°C, 12ч | 240 | 12 |
| АВ | 0,1-0,5 | 0,4-0,9 | 0,15-0,35 | 0,5-1,2 | Закалка от 510-530°C + старение 170°C, 12ч | 330 | 14 |

- Характеристика: высокая пластичность при достаточной прочности, хорошая свариваемость, малая плотность, хорошая обрабатываемость резанием и коррозионностойкость



Деформируемые термически упрочняемые сплавы

Ковочные (сплавы системы AL-Cu-Mg- Si)

Химический состав и механические свойства сплавов

| марка сплава | содержание, % | | | | термическая обработка | $\sigma_{н}$, МПа | δ , % |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|---|--------------------|--------------|
| | Cu | Mg | Mn | Si | | | |
| AK6 | 1,8-2,6 | 0,4-0,8 | 0,4-0,8 | 0,7-1,2 | Закалка от 505-525°C + старение 160°C, 10-15ч | 400 | 12 |
| AK8 | 3,9-4,8 | 0,4-0,8 | 0,4-1,0 | 0,6-1,2 | Закалка от 495-505°C + старение 160°C, 10-15ч | 480 | 9 |

- Характеристика: высокая стойкость к образованию горячих трещин при достаточной пластичности, хорошая свариваемость, малая плотность

Деформируемые термически упрочняемые сплавы



Высокопрочные (сплавы системы Al-Cu-Mg- Zn)

Химический состав и механические свойства сплавов

| марка сплава | содержание, % | | | | термическая обработка | $\sigma_{в}$, МПа | δ , % |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|---|--------------------|--------------|
| | Cu | Mg | Mn | Zn | | | |
| B95 | 1,4-2,0 | 1,8-2,8 | 0,2-0,6 | 5,0-7,0 | Закалка от 460-470°C + старение 120-140°C, 15-25ч | 600 | 8 |
| B96 | 2,3 | 2,7 | | 8,5 | Закалка от 460-470°C + старение 120-140°C, 15-25ч | 670 | 7 |

- Характеристика: по сравнению с дуралюминами обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью, вязкостью разрушения и большей чувствительностью к концентрациям напряжений и пониженной коррозионной стойкостью



Термическая обработка сплавов



- Сплавы с составом правее F подвергаются закалке и старению искусственному при повышенных температурах или естественному при комнатной температуре

Термическая обработка



- Основана на изменении растворимости соединений Cu, Mg, Si, Zn в Al-растворе
- Состоит из 2-ух процессов:
 1. **Закалки**- нагрев ($500\text{ }^{\circ}\text{C}$), выдержка, охлаждение в воде.
 - Полное растворение соединений и получение перенасыщенного α - тв. раствора
 2. **Старение**
 - 2а. естественного** ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - Распад перенасыщенного α - тв. раствора с образованием зон Гинье –Престона - пластинчатых образований
 - 2б. искусственного** ($150...200\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - Распад перенасыщенного α - тв. раствора с образованием зон Вассермана – кристаллов новой фазы, связанной с кристаллической решеткой α - тв. раствора



Алюминиевые литейные сплавы

Химический состав и механические свойства сплавов

| Марка сплава | Содержание, % | | | | | Термообработка | $\sigma_{\text{в}}$, МПа | δ , % |
|---------------------------------|---------------|----------|---------|---------|--|----------------|---------------------------|--------------|
| | Si | Mg | Cu | Mn | другие | | | |
| <i>Система Al-Si (силумины)</i> | | | | | | | | |
| АЛ2 | 10-13 | - | - | - | - | - | 160 | 1,0 |
| АЛ4 | 8-10,5 | 0,2-0,4 | - | 0,2-0,4 | - | T0 | 230 | 3,0 |
| <i>Система Al-Cu</i> | | | | | | | | |
| АЛ7 | - | - | 4,0-5,0 | - | - | T0 | 250 | 5,0 |
| АЛ19 | - | - | 4,5-5,3 | 0,6-1,0 | Ti 0,15-0,35 | T0 | 370 | 5,0 |
| <i>Система Al-Mg</i> | | | | | | | | |
| АЛ23 | - | 6-7,0 | - | - | Ti 0,05-0,15 Zr 0,05-0,2 Be 0,02-0,1 | - | 200 | 4,0 |
| АЛ27 | - | 9,5-10,5 | - | - | Ti 0,05-0,15 Zr 0,05-0,2 Be 0,05-0,1 | T0 | 360 | 18,0 |

Микроструктура
силумина



а)

а) до -, б) после-
модифицирования



б)



Модифицирование сплавов

- Модификатор – вещество , малые дозы которого существенно изменяют структуру и свойства обработанного ими сплава.
- Эффект от такой обработки наз. модифицированием.
- Силумин до модифицирования-
Заэвтектический сплав (стр-ра-эвт + кремний)
- Силумин после модифицирования-
Доэвтектический сплав(стр-ра-эвт + алюминий)
 $\sigma_{\text{в}} = 140 \rightarrow 180 \text{ МПа}$, $\delta = 3 \rightarrow 8\%$



Порошковые (спеченные) алюминиевые сплавы

Спеченные сплавы

Спеченный
алюминиевый порошок (САП)

Спеченный
алюминиевый сплав (САС)

- САП –получают холодным, затем горячим брикетированием пудры при 500°C с последующей деформацией.
Состав :САП-1 (Al_2O_3 -6...9%) до САП -4 (Al_2O_3 -18...22%)
Свойства: хорошая свариваемость, повышенная жаропрочность, высокая теплопроводность и электропроводность, низкая плотность
- САС - получают горячим брикетированием порошков окисленных алюминиевых сплавов при 500°C с последующей деформацией.
Состав: САС-1 (30 % -Si, 7%- Ni, остальное Al)
Свойства: обладают низким коэф. линейного расширения, удовл. прочностью, жаропрочны, малопластичны, высоким модулем упругости

Основные выводы



- Алюминий -цветной легкий металл, обладающий высокой электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью
- В качестве конструкционных материалов широко используются алюминиевые сплавы: деформируемые, литейные, порошковые, например, дуралюмины, магналии, силумины, высокопрочные и жаропрочные сплавы, спеченные сплавы
- Для улучшения свойств литейных сплавов проводят модифицирование – присадку в жидкий расплав фтористого и хлористого натрия
- Для улучшения свойств деформируемых сплавов проводят термическую обработку – закалку, а затем искусственное или естественное старение.