



## Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

### Тема 1.7. Цветные металлы и сплавы.

#### Занятие №2.

##### Учебные вопросы:

6. Магний, его свойства, марки, применение
7. Магниевого сплавы, свойства, особенности обработки, применение. Влияние легируемых элементов на свойства сплавов
8. Титан, его сплавы, свойства, применение, марки

#### 6. Магний, его свойства, марки, применение

**Магний** — самый легкий (плотность  $1,74 \text{ г/см}^3$ ) из технических цветных металлов, серебристого цвета, температура плавления  $650^\circ\text{C}$ . При температуре, немногим более температуры плавления, легко воспламеняется и горит ярко-белым пламенем.

Магний относится к числу наиболее распространенных элементов в природе. В виде соединений он входит в состав горных пород — магнезита, доломита, карналита и морской воды (бишофит). Промышленное производство магния основано на электролизе расплавов чистых обезвоженных солей.

Главным достоинством магния как машиностроительного материала являются низкая плотность, технологичность. Однако его коррозионная стойкость во влажных средах, кислотах, растворах солей крайне низка. Чистый магний практически не используют в качестве конструкционного материала из-за его недостаточной коррозионной стойкости. Он применяется в качестве легирующей добавки к сталям и чугунам и в ракетной технике при создании твердых топлив.

Магниевого сплавы имеют буквенно-цифровую систему обозначения марок. Буквы указывают соответствующую группу, а цифры — порядковый номер сплава.

Магниевого сплавы подразделяют на две группы:

1. деформируемые (ГОСТ 14957—76);
2. литейные (ГОСТ 2856—79).

Марки деформируемых сплавов: МА1, МА2, ..., МА20.

Например: МА15 означает, марка магниевого деформируемого сплава с порядковым номером 15.

Марки литейных сплавов: МЛ3, МЛ4, ..., МЛ19.

Например: МЛ15 означает, марка магниевого литейного сплава с порядковым номером 15.

#### 7. Магниевого сплавы, свойства, особенности обработки, применение. Влияние легируемых элементов на свойства сплавов

Эксплуатационные свойства магния улучшают легированием марганцем, алюминием, цинком и другими элементами. Легирование способствует повышению коррозионной стойкости (Zr, Mn), прочности (Al, Zn, Mn, Zr), жаропрочности (Th) магниевого сплавов, снижению окисляемости их при плавке, литье и термообработке.

Сплавы на основе магния классифицируют по:

- **механическим свойствам** — невысокой, средней прочности, высокопрочные, жаропрочные;
- **технологии переработки** — литейные и деформируемые;



– отношению к термической обработке — упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой.

Маркировка магниевых сплавов состоит из буквы, обозначающей соответственно сплав (М), и буквы, указывающей способ технологии переработки (А — для деформируемых, Л — для литейных), а также цифры, обозначающей порядковый номер сплава.

*Деформируемые магниевые сплавы* МА1, МА2, МА3, МА5, МА8 применяют для изготовления полуфабрикатов — прутков, труб, полос и листов, а также для штамповок и поковок.

*Литейные магниевые сплавы* МЛ1, МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6 нашли широкое применение для производства фасонных отливок. Некоторые сплавы МЛ применяют для изготовления высоконагруженных деталей в авиационной и автомобильной промышленности: картеры, корпуса приборов, колесные диски, фермы шасси самолетов.

Ввиду низкой коррозионной стойкости магниевых сплавов изделия и детали из них подвергают оксидированию с последующим нанесением лакокрасочных покрытий.

Легирующими элементами сплавов магния являются: алюминий, цинк, марганец, бериллий, титан, цирконий и церий.

Введение до 10 % **алюминия** в сплав способствует повышению прочности, повышению коррозионной стойкости.

**Цинк** повышает прочность, придает способность упрочняться путем термической обработки (закалка и последующий отпуск — старение), повышает коррозионную стойкость. Цинка вводят в сплавы магния до 3—5%.

**Марганец** повышает механические свойства и коррозионную стойкость. Вводят до 0,5%.

**Бериллий** вводят в количестве 0,01—0,007% для образования прочной окисной пленки, которая снижает способность сплавов к возгоранию в расплавленном состоянии, но одновременно бериллий способствует образованию трещин в сплаве.

**Титан** способствует получению плотной отливки мелкозернистой структуры, повышает коррозионную стойкость и прочность сплава. Вводят в сплав до 0,4%.

**Церий** вводят до 0,25% для повышения механических свойств.

**Цирконий** вводят в деформируемые сплавы до 0,8%, повышает пластичность сплава в горячем состоянии и прочность, способствует образованию мелкозернистой структуры.

### Деформируемые сплавы магния

**Сплав МА1** — средней прочности, наиболее устойчив к коррозии, в горячем состоянии обладает значительной пластичностью, хорошо сваривается газовой и контактной сварками, термической обработкой не упрочняется, отлично обрабатывается резанием.

Сплав МА1 применяется в виде штамповок для малонагруженных деталей: капотов, обтекателей, зализов, сварных баков, арматуры и др.

**Сплав МА2** имеет повышенную прочность и хорошую пластичность в горячем состоянии. Термической обработкой не упрочняется, хорошо сваривается и отлично обрабатывается резанием.

Применяется для изготовления деталей сложной формы — рычагов, кронштейнов, дисков ротора вентилятора и др.

**Сплав МА8** выпускается в виде листов, лент профилей, плит. Имеет высокую коррозионную стойкость, сваривается газовой и аргоно-дуговой сварками, отлично обрабатывается резанием.

Применяется для изготовления средненагруженных деталей конструкций: обтекателей, деталей бензо- и маслосистем, элементов обшивки самолета.



**Сплав МА13** является жаропрочным. Поставляется в виде листов. Удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой сваркой, хорошо обрабатывается резанием, давлением.

Применяется для изготовления деталей, работающих при температуре до 350°C.

**Сплав ВМ65-1** выпускается в виде прутков, профилей, штампованных изделий для средненагруженных деталей. Хорошо обрабатывается давлением, резанием, плохо сваривается.

Применяется для изготовления стрингеров, штампованных узлов и деталей.

### Литейные магниевые сплавы

Литейные магниевые сплавы получили широкое применение в авиастроении из-за их малой плотности. Недостатком их является низкая коррозионная стойкость. Литейные сплавы магния по механическим свойствам мало отличаются от литейных сплавов алюминия, поэтому замена сплавов алюминия сплавами магния является выгодной.

**Сплав МЛ4** обладает высокой коррозионной стойкостью из всех литейных сплавов магния, имеет удовлетворительные литейные свойства, хорошее сочетание механических свойств.

Применяется для изготовления высоконагруженных менее сложной формы деталей: корпусов приборов, барабанов колес самолетов и других деталей, подвергаемых статическим нагрузкам.

**Сплав МЛ15** имеет удовлетворительную стойкость к коррозии, хорошие литейные свойства, высокие механические свойства. Отлично обрабатывается резанием, удовлетворительно сваривается.

Применяется для изготовления высоконагруженных авиационных деталей сложной формы — корпусы маслососов редуктора, картеры и крышки редукторов, корпусы кулачковых механизмов, коробки передач, корпусы приводов, корпусы муфт сцепления, маслоотстойники и многие другие детали турбореактивных двигателей самолетов и вертолетов.

**Сплав МЛ7** обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью, удовлетворительными литейными свойствами, отлично обрабатывается резанием, плохо сваривается.

Применяется для изготовления средненагруженных деталей, работающих в интервале температур 150—200°C: корпусы компрессоров и др.

## 8. Титан, его сплавы, свойства, применение, марки

**Титан** — серебристо-белый металл низкой плотности (4,5 г/см<sup>3</sup>) с высокими механической прочностью, коррозионной и химической стойкостью. Температура плавления титана 1660°C, с углеродом он образует очень твердые карбиды. Титан удовлетворительно куется, прокатывается и прессуется.

В земной коре содержится около 60 соединений, содержащих титан, промышленную ценность среди которых имеют ильменит, перовскит и сфен.

Основными способами получения титана являются избирательная восстановительная плавка, восстановление тетраоксида магния, переплав титановой губки. Очистку титана от примесей производят методом зонной плавки.

Механические свойства титана определяются степенью его чистоты. Примеси кислорода, азота и углерода, образующие с титаном различные соединения, оказывают существенное влияние на его свойства. К вредным примесям относится водород, вызывающий охрупчивание титана.

Для получения сплавов титана с заданными механическими свойствами его легируют различными элементами. Алюминий повышает жаропрочность и механическую прочность титана. Ванадий, марганец, молибден и хром повышают жаропрочность титановых сплавов. Сплавы хорошо поддаются горячей и холодной обработке давлением, обработке резанием, имеют удовлетворительные литейные свойства, хорошо свариваются в среде инертных газов. Сплавы работоспособны при температуре до 500°C.



Титановые сплавы классифицируют по:

- **технологическому назначению** на литейные и деформируемые;
- **механическим свойствам** — низкой (до 700 МПа), средней (700—1000 МПа) и высокой (более 1000 МПа) прочности;
- **эксплуатационным характеристикам** — жаропрочные, химически стойкие и др.;
- **отношению к термической обработке** — упрочняемые и неупрочняемые.

Деформируемые титановые сплавы по механической прочности выпускаются под марками:

- низкой прочности — ВТ1;
- средней прочности — ВТ3, ВТ4, ВТ5;
- высокой прочности — ВТ6, ВТ14, ВТ15 (после закалки и старения).

В **литейных** титановых сплавах в конце марки указывается буква «Л», например, ВТ20Л, ВТ3-1Л и т.д.

Технически чистый титан (ГОСТ 19807—91) маркируют в зависимости от содержания примесей ВТ 1-00 (сумма примесей < 0,10%), ВТ1-0 (сумма примесей < 0,30%). Титан с содержанием примесей < 0,093% называется **иодидным титаном**.

Отличительными особенностями титана и его сплавов являются хорошие механические свойства, малая плотность, высокая удельная прочность, хорошие технологические свойства и отличная коррозионная стойкость, что определяет их широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении, химической и других отраслях промышленности.

Широкое применение получил титан в авиационной промышленности. Он несколько тяжелее алюминия, но гораздо прочнее его. Для тех же деталей самолета титана требуется меньше, чем алюминия, поэтому конструкция самолета облегчается. Благодаря использованию титана вместо алюминия массу самолета удастся уменьшить на 20—25%. Это очень важно, так как облегчить конструкцию самолета — значит повысить его скорость, высоту полета, радиус действия, увеличить маневренность и грузоподъемность. Поэтому авиационные конструкторы заинтересованы в использовании титана при изготовлении реактивных двигателей, планера, шасси. В результате замены стали и алюминия титановыми сплавами масса самолета снижается на сотни килограммов, а нередко и на тонны. Крыло сверхзвукового самолета, целиком изготовленное из стали, весит более 2 т, крыло из титана — немного более 1800 кг. В транспортном среднем реактивном самолете число крепежных деталей около 50 тысяч, суммарная их масса около 300 кг. Замена стали титаном уменьшает массу крепежных деталей на 1/3. В конструкции самолета Ил-86 и его двигателях использовано около 20 т титана, два с половиной миллиона титановых заклепок, болтов и гаек. Это облегчает его на несколько тонн.

Ротор компрессора реактивного двигателя, изготовленный из особо прочной специальной стали, не выдерживает частоту вращения 17 тыс. об/мин, а точно такой же ротор из титана разрушается только при 25 тыс. об/мин.

Большинство серийных титановых сплавов выдерживает температуру до минус 196°С, а некоторые выдерживают температуру жидкого водорода (минус 253°С).

## Сплавы титана

Для повышения прочности при обычных температурах и жаропрочности титан легируют алюминием, хромом, марганцем, железом, молибденом, ванадием, оловом, цирконием, ниобием.

По структуре титановые сплавы подразделяются на однофазные и двухфазные.

**Однофазные** — имеют структуру  $\sigma$ -титана с гексогональной кристаллической решеткой. Такую структуру имеют сплавы, содержащие алюминий, олово, цирконий. Эти сплавы хорошо свариваются сваркой плавления, сохраняют высокую пластичность при низких температурах, не упрочняются термообработкой, сохраняют достаточную прочность до 650°С.



Недостатком их является пониженная технологическая пластичность, особенно в сплавах легированных большим количеством алюминия.

Однофазные сплавы имеют структуру  $\beta$ -титана с кристаллической решеткой объемноцентрированного куба. Сплавы титана, легированные алюминием, хромом, молибденом, имеют высокую пластичность при комнатной температуре, способность упрочняться термической обработкой, сохранять свою прочность до 540°C.

**Двухфазные** — содержат в структуре  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазы. В этих сплавах структура может быть из  $\alpha$  +  $\beta$ -фазы, содержащей более 2%  $\beta$ -стабилизаторов — элементов, понижающих температуру аллотропического превращения. Обычно эти сплавы легированы алюминием, марганцем, молибденом, железом, хромом, ванадием. Они обладают большей пластичностью, хорошо свариваются, достаточно прочны, упрочняются термической обработкой, которая состоит из закалки при 700—950°C в воде и искусственного старения при 480—550°C.

Все титановые сплавы имеют низкие антифрикционные свойства и для повышения износостойчивости могут цементироваться и азотироваться. Они свариваются, паяются, обрабатываются резанием, давлением в холодном и горячем состояниях, но технологические процессы имеют некоторые особенности, связанные со свойствами титана

Титановые сплавы используются для изготовления обшивки высокоскоростных самолетов, передних кромок крыла и стабилизатора, элеронов и конусов, лонжеронов, нервюр, шпангоутов, элементов жесткости. Эффективно использовать титановые сплавы для противопожарных перегородок, воздухопроводов и трубопроводов гидравлических систем, немагнитных топливных баков, створок шасси и др.

В двигателях титановые сплавы используют для изготовления деталей компрессора: лопаток и дисков, кожухов камер сгорания, реактивных сопел выхлопных патрубков.