



Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Тема 1.7. Цветные металлы и сплавы.

Занятие №1.

Учебные вопросы:

1. Общие сведения о применении цветных металлов и сплавов в авиастроении. Преимущества сплавов цветных металлов перед чугунами и сталями
2. Алюминий, его марки, свойства, применение
3. Алюминиевые сплавы, их классификация
4. Конструкционные сплавы алюминия
5. Порошковые алюминиевые сплавы

1. Общие сведения о применении цветных металлов и сплавов в авиастроении. Преимущества сплавов цветных металлов перед чугунами и сталями

Многие цветные металлы и их сплавы обладают рядом ценных свойств: хорошей пластичностью, вязкостью, высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью и другими достоинствами. Благодаря этим качествам цветные металлы и их сплавы занимают важное место среди конструкционных материалов.

Из цветных металлов в машиностроении в чистом виде и в виде сплавов широко используются алюминий, медь, свинец, олово, магний, цинк, титан.

Цветные металлы являются более дорогими и дефицитными по сравнению с черными металлами, однако область их применения в технике непрерывно расширяется. В связи с развитием новых отраслей промышленности непрерывно возникают новые специфические требования к металлическим материалам. Это вызвало быстрое развитие производства многих металлов, которые в недалеком прошлом изготавливали в небольших количествах только для целей исследования. Более высокие требования (например, к массе конструкций, удельной прочности и устойчивости) предъявляют и к конструкционным материалам, что заставляет в ряде случаев использовать цветные металлы и их сплавы. Цветные металлы, особенно сплавы на их основе, имеют ряд преимуществ перед черными: малый удельный вес, высокую стойкость против коррозии, высокую удельную прочность, хорошую обрабатываемость. Применение материалов с малым удельным весом дает возможность снизить массу конструкции машин и увеличить полезную нагрузку. Высокая прочность материалов обеспечивает надежность конструкции, позволяет уменьшить поперечные размеры деталей и снизить их массу. Особенно ценны для авиационного конструктора материалы, у которых высокая прочность сочетается с малым удельным весом.

2. Алюминий, его марки, свойства, применение

Алюминий — металл серебристо-белого цвета, характеризуется низкой плотностью $2,7 \text{ г/см}^3$, высокой электропроводностью, температура плавления 660°C . Механические свойства алюминия невысокие, поэтому в чистом виде как конструкционный материал применяется ограниченно.

Для повышения физико-механических и технологических свойств алюминий легируют различными элементами (Cu, Mg, Si, Zn). Железо и кремний являются постоянными примесями алюминия. Железо вызывает снижение пластичности и электропроводности алюминия. Кремний, как и медь, магний, цинк, марганец, никель и хром, относится к легирующим добавкам, упрочняющим алюминий.



В зависимости от содержания постоянных примесей различают:

- алюминий особой чистоты марки А999 (0,001% примесей). Применяется в полупроводниковой промышленности;
- алюминий высокой чистоты — А935, А99, А97, А95 (0,005—0,5% примесей). Данные марки применяются в электро- и радиопромышленности;
- технический алюминий — А85, А8, А7, А5, А0 (0,15—0,5% примесей) Алюминий технической чистоты применяется для изготовления алюминиевых сплавов.

Влияние легирующих элементов на свойства алюминиевых сплавов

Медь с алюминием образует ограниченные твердые растворы и химическое соединение CuAl , обладающее высокой твердостью и хрупкостью. Медь повышает прочность и твердость, в связи с чем содержание ее не должно превышать в сплавах 5,5%. Медь снижает коррозионную стойкость, поэтому алюминиевые сплавы с медью обладают склонностью к межкристаллитной коррозии.

Магний увеличивает прочность алюминиевых сплавов. В деформируемые сплавы вводят до 7% магния, в литейные — до 13%. Магний улучшает литейные свойства.

Кремний в алюминиевые сплавы вводится для повышения прочности и улучшения литейных свойств. Его вводят в пределах 1,65%, при большем содержании кремния повышается хрупкость. В деформируемых алюминиевых сплавах содержание кремния не должно превышать 1,2%, в литейных — до 13%.

Марганец вводится в алюминиевые сплавы от 1,2 до 1,6%. Он образует с алюминием ограниченно твердые растворы и химическое соединение MnAl_6 . Марганец вводят для улучшения коррозионной стойкости.

Цинк является важным легирующим элементом. Вводится в высокопрочные алюминиевые сплавы до 8%, растворяется в алюминии, а с другими элементами сплава образует сложное химическое соединение, упрочняет алюминиевые сплавы после их закалки и старения, но снижает их коррозионную стойкость.

Титан вводят для получения мелкозернистой структуры.

Хром ограничивает рост зерна сплава при нагреве.

Никель вводят в количестве 3,5% для обеспечения большой стабильности и улучшения теплопроводности сплавов. Никель вводят только в жаропрочные сплавы.

Железо для большинства алюминиевых сплавов является вредной примесью, ухудшает их коррозионную стойкость, но для повышения жаропрочности в некоторые сплавы вводят до 1,5—2%.

Алюминий и его сплавы широко применяются в машиностроении для изготовления различных транспортных аппаратов, особенно в самолетостроении. В авиации очень важно, чтобы масса конструкции летательного аппарата была минимальной, что дает возможность при той же мощности двигателя повысить грузоподъемность летательного аппарата.

3. Алюминиевые сплавы, их классификация

Технический алюминий выпускают в виде полуфабрикатов для дальнейшей переработки в изделия. Алюминий высокой чистоты применяют для изготовления фольги, токопроводящих и кабельных изделий.

В авиации широкое применение получили сплавы на основе алюминия. Они классифицируются:

- по технологии изготовления;
- по степени упрочнения после термической обработки;
- по эксплуатационным свойствам.



ДЕФОРМИРУЕМЫЕ СПЛАВЫ

К **неупрочняемым термической обработкой** относятся сплавы:

- алюминия с марганцем марки АМц;
- алюминия с магнием марок АМг, АМг3, АМг5В, АМг5П, АМг6.

Алюминиево-марганцовистые сплавы АМц содержат марганца до 1,6%. Хорошо обрабатываются в холодном состоянии, хорошо свариваются. Закалке их не подвергают, так как образующееся химическое соединение типа $MnAl$ нерастворимо в твердом растворе алюминия. Сплавы устойчивы к коррозии, имеют невысокие механические свойства и упрочняются нагартовкой, что указывается в марке сплава — АМц (мягкий, отожженный), АМцАП (полунагартованный), АМцАН (нагартованный).

Из **АМц** изготовляют сварные баки, обтекатели, воздухозаборники, каркасы, патрубки и другие штампованные и сварные детали и узлы.

Алюминиево-магниевые сплавы АМг содержат магния 2,5—6 %. В марках сплава после буквенного обозначения ставится цифра, которая показывает содержание магния в процентах. Например, АМг5 — содержит пять процентов магния. АМг прочнее АМц, обладают высокой коррозионной стойкостью, высокой пластичностью.

Сплав **АМг5В** обладает высокой коррозионной стойкостью, в отожженном состоянии имеет высокую пластичность; куется при 460—500°C, удовлетворительно сваривается атомно-водородной, контактной и газовой сварками. Применяется для сварных конструкций, силовых деталей, обшивки, сварных баков.

Все остальные алюминиево-магниевые сплавы применяются в отожженном или полунагартованном состоянии для изготовления сварных баков, трубопроводов разного назначения, деталей обтекаемой формы.

В группе деформируемых алюминиевых сплавов, **упрочняемых термической обработкой**, различают сплавы:

- нормальной прочности;
- высокопрочные сплавы;
- жаропрочные сплавы;
- сплавы дляковки и штамповки.

Для литейных алюминиевых сплавов применяются следующие виды термической обработки: Т1 — старение; Т2 — отжиг; Т4 — закалка; Т5 — закалка и частичное старение; Т6 — закалка и полное старение до максимальной твердости; Т7 — закалка и стабилизирующий отпуск; Т8 — закалка и смягчающий отпуск.

Сплавы нормальной прочности.

К ним относятся сплавы системы Алюминий + Медь + Магний (**дюралюмины**), которые маркируются буквой «Д». Дюралюмины (Д1, Д16, Д18) характеризуются высокой прочностью, достаточной твердостью и вязкостью. Для упрочнения сплавов применяют закалку с последующим охлаждением в воде. Закаленные дюралюмины подвергаются старению, что способствует увеличению их коррозионной стойкости.

Д1 выпускается в виде листов, прутков, профилей, труб, проволоки, штамповок. Обладает средней пластичностью, хорошо сваривается точечной и роликовой сваркой, удовлетворительно обрабатывается резанием. Закалка при 495—510°C с охлаждением в воде, а затем подвергается естественному старению. Отжиг при 350—370°C с охлаждением на воздухе.

Применяется для изготовления силовых элементов средней прочности: деталей каркаса, штампованных узлов, лопастей винтов вертолетов (самолетов), заклепок, обшивки и других деталей.

Д16 является основным сплавом для изготовления силовых элементов конструкции самолетов и вертолетов. Получил широкое применение и в других отраслях промышленности. Выпускается в виде листов, прутков, профилей, проволоки, труб. Хорошо штампуются, хорошо



сваривается точечной сваркой, удовлетворительно обрабатывается резанием. Закалка при 495—505°C с охлаждением в воде и подвергается естественному старению. Отжиг производят при 350—370°C с охлаждением на воздухе.

Применяется для изготовления деталей каркаса крыла и фюзеляжа, обшивки, тяг управления, роликов, заклепок, кронштейнов, трубопроводов и других деталей.

Д18П применяется для изготовления заклепок.

Высокопрочные сплавы алюминия.

Высокопрочные сплавы алюминия (В93, В95, В96) относятся к системе Алюминий + Цинк + Магний + Медь. В качестве легирующих добавок используют марганец и хром, которые увеличивают коррозионную стойкость и эффект старения сплава. Для достижения требуемых прочностных свойств сплавы закалывают с последующим старением.

Высокопрочные сплавы по своим прочностным показателям превосходят дюралюмины, однако менее пластичны и более чувствительны к концентраторам напряжений (надрезам). Из этих сплавов изготавливают высоконагруженные наружные конструкции в авиационном строении — детали каркасов, шасси и обшивки.

Из сплава **В95** изготавливают детали, работающие длительное время при 100—120°C, например обшивку, каркас крыла, фюзеляжа и другие детали.

Из сплава **В96** рекомендуется изготавливать детали, работающие длительное время при температуре ниже 100°C на сжатие, детали особо нагруженных конструкций.

Жаропрочные сплавы алюминия.

Жаропрочные сплавы алюминия (АК4-1, Д19, Д20) имеют сложный химический состав, легированы железом, никелем, медью и другими элементами. Жаропрочность сплавам придает легирование, замедляющее диффузионные процессы.

Детали из жаропрочных сплавов используются после закалки и искусственного старения и могут эксплуатироваться при температуре до 300°C.

Сплав АК4-1 — деформируемый алюминиевый сплав, имеет пониженную пластичность в горячем состоянии, удовлетворительно сваривается, хорошо обрабатывается резанием.

Применяется для изготовления деталей двигателей и других изделий, работающих при температуре до 350°C.

Д19 — теплоустойчивый сплав, надежно работающий при 125—250°C при статических и вибрационных нагрузках.

Применяется для изготовления заклепок и листов, работающих при повышенной температуре.

Д20 обладает высокой пластичностью при 400—450°C, хорошо сваривается аргонодуговой и точечной сварками, удовлетворительно обрабатывается резанием, хорошо обрабатывается давлением. Выпускается в виде поковок, штамповок сложной формы, листов, профилей.

Применяется для изготовления лопаток, дисков осевых компрессоров, сварных емкостей и других деталей, работающих при повышенных температурах (200—300°C). Закалка при 535°C и подвергается искусственному старению в течение 12 ч (для деталей, работающих длительное время).

Сплавы дляковки и штамповки.

Сплавы дляковки и штамповки (АК2, АК4, АК6, АК8) относятся к системе Алюминий + Медь + Магний с добавками кремния. Сплавы применяют после закалки и старения для изготовления средненагруженных деталей сложной формы (АК6) и высоконагруженных штампованных деталей — поршни, лопасти винтов, крыльчатки насосов и др.

Сплав АК6 обладает высокой пластичностью в горячем состоянии и повышенными механическими свойствами. Термическая обработка: закалка при 500—515°C в воде и искусственное старение при 150—160°C в течение 12—15 ч. Хорошо сваривается контактной сваркой.



Применяется для изготовления кованных и штампованных деталей сложной формы, например узлов самолета, крыльчаток компрессора, дисков кулачковой шайбы, масляных дефлекторов, рычагов, кронштейнов в системе управления самолетом и др.

Сплав АК8 — повышенной прочности, применяется для изготовления высоконагруженных узлов крепления самолетных конструкций: рам, кронштейнов, фитингов и т. п.

ЛИТЕЙНЫЕ СПЛАВЫ.

Для изготовления деталей методом литья применяют алюминиевые сплавы систем Al—Si, Al—Cu, Al—Mg. Для улучшения механических свойств сплавы легируют титаном, бором, ванадием. Главным достоинством литейных сплавов являются высокая жидкотекучесть, небольшая усадка, хорошие механические свойства.

Применяют следующие виды термической обработки литейных алюминиевых сплавов:

- искусственное старение: для улучшения прочности и обработки резанием;
- отжиг с охлаждением на воздухе: для снятия литейных и остаточных напряжений и повышения пластичности;
- закалка и естественное (или искусственное) старение: для повышения прочности;
- закалка и смягчающий отпуск: для повышения пластичности и стабильности размеров.

Сплавы алюминия с кремнием (силумины).

Сплавы алюминия с кремнием (силумины) получили наибольшее распространение среди алюминиевых литейных сплавов в силу своих высоких литейных свойств и хороших механических и технологических характеристик. Силумины (марок АЛ2, АЛ4, АЛ9) обладают высокой жидкотекучестью, хорошей герметичностью, достаточной прочностью, хорошо обрабатываются резанием, легко свариваются, сопротивляются коррозии и устойчивы к образованию горячих трещин.

Сплав АЛ2 применяется для изготовления тонкостенных деталей сложной формы при литье в землю: корпуса агрегатов и приборов.

Сплав АЛ4 — высоконагруженные детали ответственного назначения: корпуса компрессоров, блоки двигателей, поршни цилиндров и др.

Сплав АЛ9 — изготовление деталей средней нагруженности, но сложной конфигурации, а также для деталей, подвергающихся сварке.

Сплавы алюминия с магнием (магналины).

Сплавы алюминия с магнием (магналины) — АЛ8, АЛ13, АЛ27, АЛ29 обладают наиболее высокой коррозионной стойкостью и более высокими механическими свойствами после термической обработки по сравнению с другими алюминиевыми сплавами, но литейные свойства их низкие.

Сплавы **АЛ8** и **АЛ13** являются наиболее распространенными, из них изготавливают подверженные коррозионным воздействиям детали морских судов, а также детали, работающие при высоких температурах (головки цилиндров мощных двигателей воздушного охлаждения).

Сплавы алюминия с медью.

Сплавы алюминия с медью — АЛ7, АЛ12, АЛ19 обладают невысокими литейными свойствами и пониженной коррозионной стойкостью, но высокими механическими свойствами.

Сплав АЛ7 применяют для изготовления отливок несложной формы, работающих с большими напряжениями (головки цилиндров маломощных двигателей воздушного охлаждения).

Сплавы алюминия, меди и кремния.

Сплавы алюминия, меди и кремния — АЛ3, АЛ4, АЛ6 характеризуются хорошими литейными свойствами, но коррозионная стойкость их невысокая.



Сплав АЛЗ широко применяют для изготовления отливок корпусов, арматуры и мелких деталей.

Сплав АЛ4 используется для отливок ответственных деталей, требующих повышенной теплоустойчивости и твердости.

Сплав АЛ6 применяют для отливок корпусов карбюраторов и арматуры бензиновых двигателей.

Сплавы алюминия, цинка и кремния.

Сплавы алюминия, цинка и кремния — типичный представитель сплавов АЛИ (цинковый силумин), обладающий высокими литейными свойствами, а для повышения механических свойств подвергающийся модифицированию. Используется для изготовления отливок сложной формы — картеров, блоков двигателей внутреннего сгорания.

4. Конструкционные сплавы алюминия

Подшипниковые сплавы.

Наибольшее применение из алюминиевых подшипниковых материалов получил сплав АСМ. По антифрикционным свойствам он близок к свинцовой бронзе, но превосходит ее по коррозионной стойкости и технологичности.

Сплав АСС-6-5 содержит в своем составе 5% свинца, что придает ему высокие противозадирные свойства. Подшипники скольжения из сплавов АСМ и АСС-6-5 применяют взамен бронзовых в дизельных двигателях.

Из алюминиевых сплавов, легированных оловом, изготавливают тяжелонагруженные подшипники скольжения в автомобилестроении, а также в судовом и общем машиностроении.

Алюминиевые сплавы характеризуются более высоким коэффициентом теплового расширения, чем чугуны и стали. Поэтому подшипники из алюминиевых сплавов ограниченно применяются в практике машиностроения. Более широкое распространение получили **биметаллические материалы**, представляющие собой слой алюминиевого сплава, нанесенный на стальное основание. Такие биметаллы обеспечивают надежную работу узлов трения при больших нагрузках (20—30 МПа) и высоких скоростях скольжения (до 20 м/с).

5. Порошковые алюминиевые сплавы

Спеченные алюминиевые сплавы.

Материалы на основе алюминия, полученные методами порошковой металлургии, обладают по сравнению с литейными сплавами более высокой прочностью, стабильностью свойств при повышенных температурах и коррозионной стойкостью.

Спеченные алюминиевые порошки (САП).

Материалы из **спеченных алюминиевых порошков (САП)** состоят из мельчайших частиц алюминия и его оксида Al_2O_3 . Порошок для спекания получают из технически чистого алюминия, распылением с последующим измельчением гранул в шаровых мельницах.

Технологический процесс получения изделий из САП состоит из операций изготовления заготовок и последующей механической обработки. Заготовки получают брикетированием (холодным или с подогревом) порошка с последующим спеканием при 590—620°C и давлениях 260—400 МПа.

По стойкости к воздействию температуры материалы из САП превосходят жаропрочный алюминиевый сплав ВД17.

Спеченные алюминиевые порошки (марок САП-1—САП-4) применяют для изготовления деталей повышенной прочности и коррозионной стойкости, эксплуатируемых при рабочих температурах до 500°C.



Сплавы САП содержат 6—22 % Al_2O_3 , это придает им высокую жаропрочность. При 300—550°C они значительно превосходят алюминиевые сплавы по прочностным характеристикам и могут работать при этих температурах более 10000 ч.

Спеченные алюминиевые сплавы (САС).

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) получают из порошков алюминия с небольшим содержанием Al_2O_3 , легированных железом, никелем, хромом, марганцем, медью и другими элементами.

Представителем этой группы материалов является САС-1, содержащий 25—30% Si и 7% Ni, применяемый взамен более тяжелых материалов в приборо- и машиностроении.

Сплавы САС имеют особые свойства — малые коэффициенты линейного расширения и теплопроводности. Сплавы САС имеют повышенную прочность и жаропрочность по сравнению со стандартными сплавами. Удовлетворительно обрабатываются резанием, свариваются контактной сваркой.

Применяются для изготовления деталей приборов, работающих в контакте со сталью в интервале 20—200°C, где требуется сочетание малого коэффициента линейного расширения с малой теплопроводностью.