



Глава 6. ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ

6.1 Алюминий

Алюминий – металл серебристого цвета с плотностью $\rho=2,71 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ и температурой плавления 660°C . Он имеет высокую теплопроводность и электропроводность; обладает низкой прочностью ($\sigma_b=100 \text{ МПа}$) и высокой пластичностью ($\delta=35\%$).

Алюминий – химически активный металл, активно и легко покрывается с поверхности оксидной пленкой Al_2O_3 , которая защищает его от дальнейшего взаимодействия с окружающей средой. Минеральные кислоты действуют на алюминий. Причем с повышением температуры действие их увеличивается. Некоторые разбавленные кислоты (HNO_3) взаимодействуют с алюминием сильнее, чем концентрированные. Соляная кислота быстро растворяет алюминий. Алюминий устойчив во многих органических кислотах: уксусной, масляной, лимонной, винной, яблочной, глюконовой. В щавелевой и муравьиной кислотах коррозионная стойкость алюминия мала. Алюминий быстро растворяется в растворах едких щелочей. Алюминий устойчив в тех средах, которые не разрушают защитную оксидную пленку. Так, соли не действуют на алюминий; сернистый газ, аммиак, сероводород, содержащиеся в атмосфере промышленных предприятий, мало влияют на стойкость алюминия на воздухе. Алюминий обладает высокой стойкостью в морской воде. Скорость коррозии алюминия резко возрастает в присутствии в воде примесей щелочей, солей ртути, меди, ионов хлора.

Алюминий и его сплавы широко используются в авиационной технике и других отраслях народного хозяйства, в художественной промышленности его используют наряду с чугуном для крупных архитектурных деталей и скульптур, для различных предметов убранства интерьеров, которые теперь заменяют бронзовые украшения. В ювелирной промышленности алюминий заменяет серебро и золото. Все алюминиевые (и остальные легкие металлы и сплавы) подразделяются на деформируемые и литейные. Из деформируемых алюминиевых сплавов изделия получают методами пластической деформации. К деформируемым относится собственно алюминий, который подразделяется на алюминий высокой и технической чистоты. Из технического алюминия изготавливают листы, проволоку, прутки.



Художественный металл

Механические свойства алюминия зависят от условий поставки: отожженный ($\sigma_{\text{в}}=60$ МПа, $\delta=28\%$), нагартованный ($\sigma_{\text{в}}=130$ МПа, $\delta=5\%$) и горячекатаный ($\sigma_{\text{в}}=70$ МПа, $\delta=15\%$). К деформируемым алюминиевым сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем (марка АМц), с магнием (марки АМг), с медью (марки Д) и ковочные сплавы марок АВ, АК, АД и др. На рис.91,92 показаны алюминиевые изделия: мемориальный комплекс в г. Ростове-на-Дону и самолет ИЛ 76.



Рис.91. Мемориальный комплекс в г. Ростове-на-Дону

Высокопрочные алюминиевые сплавы В95, В93, В96в, В96ц-3, разработанные в СССР в 1950-1970 годах явились основой конструкции советских истребителей КБ Микояна, Яковлева, Сухого; бомбардировщиков Ту16, Ту95, пассажирских и транспортных самолетов Ил86, Ил76, рис. 105, «Антей» и «Руслан» фирмы Антонова, давая снижение веса конструкции 12–15%.

Литейные алюминиевые сплавы в основном базируются на системах Al-Si (сплав АК12) и Al-Si-Mg (сплавы АК9, АК9Cu, АК8М и др.). Литейные алюминиевые сплавы обладают достаточно высокими механическими свойствами ($\sigma_{\text{в}}=180-260$ МПа, $\delta=3-6\%$), хорошими литейными и технологическими свойствами. Это предопределило их широкое применение наряду с чугуном для изделий промышленного производства и художественного литья, рис.93-96.



Рис. 92. Военно-транспортный самолет Ил 76

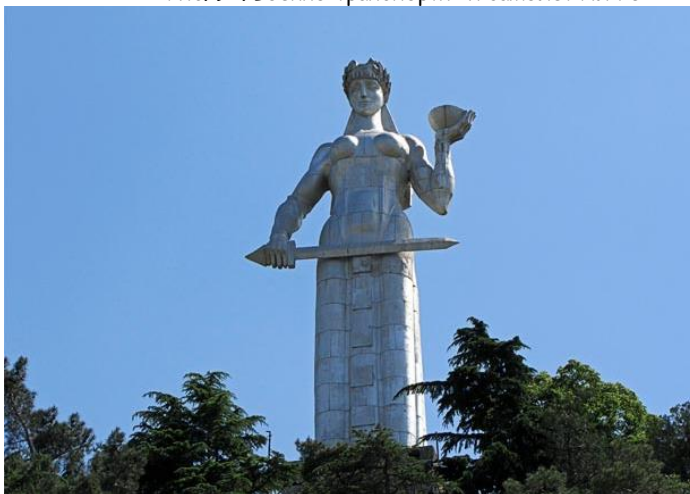


Рис.93. Символ Грузии - статуя «Мать-Грузия»,стоящая на Святой горе в Тбилиси, скульптор Э.Д. Амашукели. 1958 год



1



2

Рис.94 Боец (1). Мечтание (2) Е.Ф. Белашова, 1957 г.

Было время, да и сейчас многие считают алюминий второстепенным материалом. В работе [11] рекомендуется использовать алюминий, который хорошо имитирует цвета пластмасс, минералов или древесины, как их заменителей, а в работе [61] говорится, что «алюминий вообще не подходит для творческих работ». С другой стороны, в работе [22] отмечается, что интерес к алюминию как художественному материалу постоянно возрастает.

На рис. 95 показаны декоративно-прикладные поделки и промышленные изделия из алюминия.



а



б

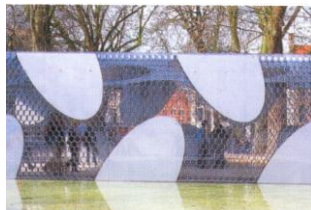
Рис.95. В.М. Федоров. Аркан. Алюминий, гранит. 2008. Якутск [www.slovoart.ru /node/63] (а) и подвеска из Al-проволоки диаметром 1.4мм. [art-shoping.ru]



Художественный металл



а



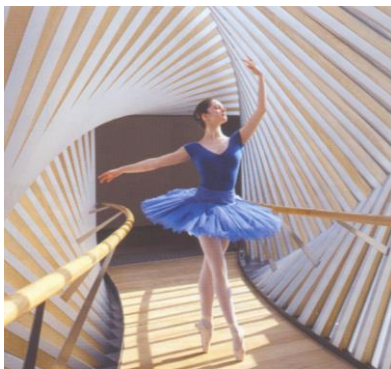
б



в



г



д

Рис.96. Изделия из алюминия: а - поезд «Синкансан-500», Япония; б - пешеходный переход в Брюгге, Бельгия; в - «Мост честволюбия», Англия; г - вид на «Мост честволюбия» ночью с крыши Балетной школы; д - внутренний вид «Моста честволюбия»

Серый цвет алюминия, его мягкость, легкость, пластичность являются его естественными свойствами и производят спокойное ненавязчивое впечатление. Алюминию как самому распространенному на планете металлу пророчат хорошее будущее, в том числе и в художественном производстве.



6.2 Магний и его сплавы

Магний – серебристо-белый металл, очень легкий ($\rho = 1,74 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$); температура плавления 6510°C , температура кипения 11030°C , рис. 97. Кристаллическая решетка гексагональная плотноупакованная Г12 ($a=0,32 \text{ нм}$, $c=0,52 \text{ нм}$, $c/a=1,62354$). Магний не претерпевает полиморфных превращений.



Рис. 97. Магний - лёгкий, ковкий, серебристо-белый металл

Чистый магний характеризуется высокой химической активностью и легко окисляется. Оксидная пленка MgO имеет значительно большую плотность ($3,2 \text{ г/см}^3$), чем чистый магний, и склонна к растрескиванию. При нагреве оксидная пленка теряет свои защитные свойства, скорость окисления магния увеличивается, и при 623°C магний воспламеняется и горит, излучая ослепительный яркий свет.

Свойства магния значительно улучшаются при легировании. Сплавы магния характеризуются низкой плотностью (около $1,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), высокой удельной прочностью, способностью хорошо поглощать вибрации. Они хорошо обрабатываются резанием, хорошо свариваются. К недостаткам относятся меньшая коррозионная стойкость, чем у алюминиевых сплавов, трудности при выплавке и литье, и необходимость нагрева при обработке давлением. В качестве легирующих элементов используют алюминий до 10%, цинк до 5–6 %, марганец до 2,5% и цирконий до 1,5 %. Для получения специальных свойств применяют также Li , Ce , Cd , Th , Nd , Y .

Историческая справка. Первые магниевые сплавы появились в начале XX века (под названием «электрон», теперь



мало употребляемым). Значение конструкционных промышленных материалов магниевые сплавы приобрели в конце 20-х — начале 30-х годов XX века, то есть почти через 100 лет после того как французский химик А. Бюсси впервые выделил магний в чистом виде (1828). До конца 40-х годов применялись главным образом сплавы на основе систем $Mg - Al - Zn$ и $Mg - Mn$. Дальнейшему прогрессу в области создания магниевые сплавы способствовало открытие модифицирующего и рафинирующего действия циркония. В 50-х годах начали применяться сплавы на основе систем $Mg - Zn - Zr$, $Mg - p. z. m.$ (редкоземельный металл) — Zr (или Mn), $Mg - Th$, а также сверхлёгкие сплавы на основе системы $Mg - Li$. Производство и потребление магния и $M. c.$ возрастает. Мировое производство магния к началу 2-й мировой войны 1939—45 составило около 50 тысяч т, в 1969 Магниевые сплавы 2 млн. т, из них Магниевые сплавы 40—50% расходуется на производство отливок и деформированных полуфабрикатов.

Алюминий образует с магнием систему эвтектического типа с большой растворимостью в твердом состоянии ($C_p=12,7\% Al$) и интерметаллидной фазой Mg_4Al_3 .

Цинк также образует эвтектическую систему со значительной растворимостью ($C_p=8,4\% Zn$) и интерметаллидной фазой Mg_7Zn_3 ($MgZn_2$).

В системах $Mg-Al$ и $Mg-Zn$ наличие интерметаллидов и переменная растворимость в твердом состоянии делают в принципе возможной термическую обработку — закалку и старение. Однако эффект упрочнения при старении незначительный (25—35%). Поэтому растворное упрочнение играет основную роль. Это относится и к тройной системе $Mg-Al-Zn$, в которой дополнительно образуется самостоятельная упрочняющая фаза $T(Mg_3Al_2Zn_3)$, которая выделяется по границам зерен.

Марганец в количестве до 2,5% вводится в магниевые сплавы для повышения коррозионной стойкости, получения мелкозернистой структуры и увеличения прочности.

Цирконий вводится в деформируемые магниевые сплавы для улучшения их пластичности в горячем состоянии.

Различают деформируемые и литейные магниевые сплавы. Деформируемые сплавы маркируются буквами МА, литейные — буквами МЛ, далее следует номер сплава.

Деформируемые магниевые сплавы применяют в виде прутков и фасонных профилей для изготовления деталей горячей



штамповкой. Для улучшения пластичности обработку давлением ведут при температурах 350–4500С, так как гексагональная решетка магния затрудняет их деформацию при комнатной температуре.

Из магниевых сплавов изготавливают кованные и штампованные детали сложной формы, такие как автомобильные диски.

Наиболее прочными деформируемыми сплавами являются сплавы магния с алюминием (МА5) и магния с цинком, легированные цирконием (МА14), кадмием, РЗМ и другими элементами (МА15, МА19 и др.).

Алюминий и цинк являются эффективными упрочнителями твердого раствора при концентрации не более 10 и 6% соответственно. При большем содержании этих элементов пластичность резко снижается. Появление при старении в структуре упрочняющих интерметаллидов Mg_4Al_3 и $MgZn_2$ осуществляет дополнительное упрочнение. Цирконий измельчает зерно, а кадмий и редкоземельные элементы (РЗМ) одновременно повышают и прочность, и пластичность.

Сплав МА1, легированный только $\sim 2\%$ Мп, характеризуется высокой пластичностью и применяется как листовой материал.

Литейные магниевые сплавы. Магниевые литейные сплавы классифицируют по химическому составу; основная группа промышленных сплавов принадлежит трем системам: Mg–Al–Zn (наиболее распространенные): Mg–Zn–Zr и Mg–РЗМ–Zn. Кроме того, находят ограниченное применение сплавы Mg–Мп (коррозионно-стойкие); Mg–Li (сверхлегкие, $\rho = 1,3\text{--}1,65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) и Mg–Th (жаропрочные). Магниевые сплавы систем Mg–Al, Mg–Zn и Mg–Al–Zn являются широкоинтервальными. Они склонны к усадочной пористости, которая снижает механические свойства и герметичность отливок. Широкий интервал кристаллизации $\Delta t_{кр}$ приводит также к образованию горячих трещин и к дендритной ликвации. Линейная усадка лежит в пределах 1,1–1,4%, усадочная раковина незначительная.

В литом состоянии магниевые сплавы хрупки из-за образования по границам зерен большого количества неравновесной эвтектики. При гомогенизации (4200С, 12–24 ч) неравновесные выделения интерметаллидов растворяются, значительно повышается пластичность, а также прочность сплавов. Охлаждение на воздухе является для сплавов закалкой,



Художественный металл

так как фиксируется значительное пересыщение твердого раствора. Максимальные прочностные свойства достигаются после дополнительного искусственного старения при 175 °С – 16 ч, а при 190 °С – 4–8 ч.

Применение магниевых сплавов в автомобильной промышленности является сравнительно новым направлением, с новыми требованиями к ним, как конструкционным материалам.. В настоящее время проводятся масштабные научно-исследовательские работы, в результате которых создаются научные основы для более широкого использования магниевых сплавов не только в виде литья под давлением, но и в виде деформированных полуфабрикатов - плит, листов, длинномерных пресованных изделий и поковок как в автомобильной промышленности, так и в других областях техники, где низкая плотность магниевых сплавов окажется оправданной с экономической точки зрения. Так, например, североамериканский концерн General Motors объявил о начале испытаний кузовных деталей на основе магниевого сплава. Применения этого материала позволит уменьшить вес кузова автомобиля, что фактически приведет к снижению расхода топлива.

Примеры художественных изделий из магниевых сплавов приведены на рис.98.



1



2



3

Рис. 98. Изделия из магниевых сплавов: 1 - Магниевые клише
http://www.kontora.us /production /product/klishe_dlya_tisneniy; 2 - Pentax K-7:
<http://images.yandex.ru /yandsearch?p=4&lr=39&noreask=1&source= psearch&tex;>
 3 - DSLR-аппарат заключён в защищённый от пыли и влаги прочный корпус из
 магниевого сплава

Город будущего. Люди будущего смогут поселиться в небольших плавучих городах, дрейфующих по Тихому океану подобно огромным водным лилиям. “Зеленый поплавок” (Green Float) состоит из ячеек-районов, каждая из которых с комфортом приютит от 10 до 50 тысяч жителей; пешеходный радиус ячейки – километр, рис. 99. Большинство обитателей “Зеленых поплавков” будут жить в “Небесном городе” – небоскребе километровой высоты, занимающем центр ячейки. Прочие поселятся в жилых зонах вокруг границы ячейки. Центральные башни будут окружать пастбища и леса; посему можно предположить, что ячейки смогут обеспечивать себя всем необходимым пропитанием. Окрест “Небесного города” найдется место и фермам, специализирующимся на крупном рогатом скоте, и иным сельхозпроизводствам. И все это, все-все, будет построено на решетчатой понтонной конструкции, состоящей из 7000-тонных сот. Основным строительным материалом для производства башен авторы проекта называют сверхлегкие сплавы на основе магния, добываемого из морской воды.



Рис. 99. «Зелёный поплавок» (Green Float) состоит из ячеек (районов), каждая из которых с комфортом приютит от 10 до 50 тыс. жителей (<http://www.zhaba.ru/item52341>)

В России прорабатывается проект строительства завода "Русский магний", который будет выпускать металлический магний и осажденный диоксид кремния с наноразмерной структурой.

6.3 Титан и его сплавы

Титан – металл серебристо-белого цвета, легкий, тугоплавкий, прочный, пластичный; плотность $\rho=4,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, температура плавления $1668 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$. Очень стоек химически благодаря образованию защитной пленки TiO_2 .

Титан имеет две полиморфные модификации: α -титан с гексагональной плотноупакованной решеткой Г12 с периодами $a=0,296 \text{ нм}$, $c=0,472 \text{ нм}$ и высокотемпературную модификацию β -титан с кубической объемно центрированной решеткой КЦ8 с периодом $a=0,332 \text{ нм}$, температура полиморфного $\alpha \rightleftharpoons \beta$ превращения составляет $882 \text{ }^\circ\text{C}$.

Чистый титан имеет следующие механические



свойства: $\sigma_{\text{в}}=245$ МПа, $\delta=70$ %. Технический титан изготавливают из чистых его сортов: BT1–00 (99,53 % Ti), BT1–0 (99,48 % Ti) и BT1–1 (99,44% Ti). Технический титан марки BT1–1 имеет свойства: $\sigma_{\text{в}}=450\text{--}600$ МПа, $\sigma_{0,2}=380\text{--}500$ МПа, $\delta \geq 25$ %; $\psi \geq 50$ %.

Титану присущ низкий модуль нормальной упругости ($E=112$ ГПа), почти в 2 раза меньший, чем у железа и никеля, что затрудняет изготовление жестких конструкций, для повышения жесткости приходится увеличивать толщину деталей и их массу.

При температуре выше 5000С титан и его сплавы легко окисляются и поглощают водород, который вызывает охрупчивание (водородная хрупкость). Технический титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается в виде листов, труб, прутков, проволоки и других полуфабрикатов, но плохо обрабатывается резанием.

Деформируемые титановые сплавы. Для получения сплавов титан легируют Al, Mo, Cr, Sn, Fe, Zr, Nd, Si. Легирование производится для улучшения механических свойств и повышения коррозионной стойкости. Титановые сплавы имеют высокую удельную прочность (отношение $\sigma_{\text{в}}/\rho$), превышающую прочность легированных сталей.

Алюминий, кислород и азот повышают температуру превращения и расширяют α -область; их называют α -стабилизаторами. Некоторые элементы образуют с титаном химические соединения (Ti_3Al , Ti_2Cu). Такие элементы, как Mo, V, Mn, Cr, Fe, понижают температуру полиморфного превращения и расширяют область β -фазы; их называют β -стабилизаторами.

Почти все промышленные титановые сплавы легированы Al.

Литейные свойства титана и его сплавов достаточно высоки. Их линейная усадка невелика ($\sim 1\%$). Сплавы имеют высокую жидкотекучесть. Наиболее широко используют α -сплав BT5Л, что обусловлено высокими литейными свойствами, простотой технологии получения из него отливок, распространенностью и недефицитностью единственного в нем легирующего элемента – алюминия, удовлетворительной пластичностью и ударной вязкостью отливок, более высокой циклической выносливостью по сравнению с титаном и литейными $\alpha+\beta$ -сплавами.



Художественный металл



1



2

Рис. 100. Ракета высотой 107 м у входа в Выставочный комплекс ВДНХ. Титан. Москва (1). Скульптурно-архитектурный ансамбль «Брестская крепость». Над обширным пространством доминирует штык-обелиск (цельносварная металлоконструкция, облицованная титаном; высота 100 м, вес 620 т. (2)



а



б

Рис. 101. С.Б. Ракитянский. Скульптура Варан. [www.artrussian.com/welder/] (а). Набор 37 предметов в футляре с покрытием нитридом титана с художественной росписью "Золотая рыбка". [www.aotrud.ru/.../sonnet/?curPos=20] (б)



Художественный металл



Рис. 102. Памятник Ю.А. Гагарину. Титан, Москва

Структура сплава ВТ5Л представлена в основном пластинчатыми зернами α -фазы внутри исходного β -зерна. Сплав не склонен к образованию горячих трещин, хорошо сваривается. Сплав предназначен для фасонных отливок, длительно работающих при температуре до 4000С. Его применяют также для создания сложных листо сварных конструкций с повышенной надежностью в эксплуатации. Отливки из α -сплава ВТ5Л, как правило, подвергают полному или неполному отжигу для стабилизации структуры и снятия остаточных напряжений. Изделия из титана показаны на рис. 100 – 103.

Первую художественную отливку из титана изготовили в 1961г. под руководством профессора О.Н. Магницкого. Это был сувенирный вариант копии Медного всадника. Восковые модели сделали на заводе "Монументскульптура". В качестве огнеупорного материала керамических форм выбрали электрокорунд, который в минимальной степени взаимодействует с титаном и обеспечивает хорошее качество литой поверхности. Дальнейшее освоение промышленного производства титановых сплавов показало, что они могут с успехом анодироваться. Цвет и интенсивность получаемых покрытий определяются положительноостью травления. Высокие декоративные свойства и коррозионная стойкость позволили использовать титан в качестве материала для памятников, монументов, обелисков.



Художественный металл

Первой в мировой практике монументальной литой скульптурой из титана является памятник Юрию Гагарину на площади его имени в Москве, рис. 102. Фигура Гагарина высотой 14м изготовлена из 239 блоков. Размеры литых блоков выбраны исходя их технологических возможностей вакуумного литейного оборудования. Формы изготавливали из графитовой смеси методом кусковой формовки. Плавка производилась в гарнисажных печах с тиглями вместимостью 400 кг. Отдельные блоки соединяли между собой болтами, изготовленными также из титанового сплава. Руководил выполнением всего комплекса сложных технологических процессов профессор Г.Л. Ходоровский.

ВМФ решил вернуть в строй уникальные титановые подлодки. Главкомат ВМФ России принял решение провести ремонт и модернизацию атомных подводных лодок проектов 945 «Барракуда» и 945А «Кондор». Эти корабли строились в 1980–1990-х годах из титана, обладающего большей прочностью по сравнению с традиционной сталью, рис. 103. Корабли проекта 945 строились в СССР в 1979–1986 годах. Сейчас в составе флота четыре титановые атомные подводные лодки (если не считать мини-лодок для глубоководных исследований): две проекта 945 «Барракуда» – К-239 «Карп» и К-276 «Кострома» и две титановые лодки модернизированного проекта 945А «Кондор» – К-336 «Псков» и К-534 «Нижний Новгород». Главная мишень «Барракуд» и «Кондоров» – авианосцы и подводные лодки. Для их уничтожения используются торпеды, которые выстреливают из двух 650-миллиметровых торпедных аппаратов и четырех 533-миллиметровых. В отличие от «Барракуд», «Кондоры» могут стрелять ядерными крылатыми ракетами «Гранат» и погружаться на 50м глубже – до 600м. От воздушных атак лодки могут отстреливаться зенитными ракетами «Игла». Несмотря на возраст, корпуса титановых лодок «в отличном состоянии».



Рис. 103. Титановые корпуса подводных лодок проектов 945 «Барракуда» и 945А «Кондор» <http://army-news.ru/2013/04/rossiya-moderniziruet-titanovye-podlodki/>; <http://masterok.livejournal.com/756399.html>

Украшения из титана выполняются самых разнообразных плоских и объемных форм и различных окрасок: желтой, красной, голубой, зеленой, розовой, малиновой, оранжевой, коричневой, синей и др. Цветные художественные и ювелирные изделия, причем нередко с изображением различных пейзажей, мифологических сюжетов, живописных изображений, получают методами термической оксидации и пламенного окрашивания. При нагреве титановых изделий до температуры 620°C на них появляется оксидная пленка TiO и TiO_2 золотистого цвета, которая с увеличением выдержки и температуры приобретает различные цвета радуги вплоть до угольно-серого. Пламенное окрашивание осуществляют с помощью газовой горелки, которая выполняет роль кисти художника.

Ювелирные и художественные изделия из титана, такие как серьги, броши, кулоны и другие украшения и поделки, изготавливаются в сочетании с золотом, бриллиантами, серебром, деревом, слоновой костью, бирюзой и жемчугом. Новизна дизайнерского решения, недефицитность материала, возможность использования различных технологических приемов делают изделия из титана привлекательными и доступными, рис. 104.



Художественный металл



Рис. 104. Ювелирные украшения из титана