

Алюміній та його сплави

Алюміній – легкий метал третьої групи періодичної системи елементів, сріблясто-білого кольору, з густиною $2,7 \text{ г/см}^3$, високою електро-, теплопровідністю та корозійною стійкістю (утворює щільну поверхневу плівку оксиду Al_2O_3). Температура плавлення алюмінію, залежно від чистоти металу, становить $660 - 667^\circ\text{C}$. Прокатний і відпалений алюміній високої чистоти має міцність $\sigma = 60 \text{ МПа}$, модуль пружності $E = 7 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, пластичність $\delta = 50 \%$, $\psi = 85 \%$, твердість 25 НВ. Алюміній високо пластичний, маломіцний матеріал, добре обробляється тиском, зварюється, але погано піддається обробці різанням. Як конструкційний матеріал його не застосовують. Постійні домішки (Fe, Si, Ti, Mn, Cu, Zn, Cr) знижують фізико-хімічні характеристики і пластичність алюмінію: А999 (0,001 % домішок), А995 (0,005 % домішок), А99 (0,01 % домішок), а також А97, А95. Введення легуючих елементів дозволило створити низку алюмінієвих сплавів з різними фізико-механічними та технологічними властивостями. Сплави алюмінію поєднують у собі кращі властивості чистого алюмінію і підвищені характеристики легуючих елементів. Так, залізо, титан, нікель підвищують жароміцність сплавів; мідь, марганець, магній забезпечують зростання характеристик міцності. Легуванням і відповідною термічною обробкою досягають підвищення міцності алюмінію (σ) від 100 до 500 МПа, твердості – від 20 до 150 НВ.

За технологією виготовлення заготовок і виробів усі промислові сплави алюмінію поділяють на три групи: деформовані, ливарні, спечені. Сплави, що піддають деформуванню, повинні забезпечувати високу технологічну пластичність для здійснення операцій прокатування, кування, пресування тощо. Деформовані сплави алюмінію поділяють на такі, що зміцнюють термічною обробкою, і такі, що не зміцнюють. До термічно незміцнюваних сплавів належать технічний алюміній (АД, АД1, АД0), сплави алюмінію з марганцем (позначають АМц) і сплави з магнієм та марганцем (позначають АМг). Вони володіють помірною міцністю, пластичністю, добре зварюються, корозійно стійкі. Залежно від стану поставки листу (0,5 - 10 мм) у позначенні марки сплаву додають літери. В разі поставки сплаву у відпаленому стані пишуть літеру М – м'які (АМгМ), при незначному наклепуванні – літеру П (АМгП), при значному – літеру Н (АМгН). Так, міцність і пластичність сплаву АМцН складає $\sigma = 220 \text{ МПа}$, $\delta = 5 \%$, а сплаву АМцМ – $\sigma = 130 \text{ МПа}$, $\delta = 20 \%$.

Мало навантажені деталі зварювальних і клепаних конструкцій, деталі глибокої витяжки виготовляють зі сплавів типу АМцН, а також АМг2М, АМг3М ($\sigma = 170 - 200 \text{ МПа}$, $\delta = 4 - 18 \%$). Деталі конструкцій середнього навантаження та високої корозійної стійкості виготовляють зі сплавів типу АМг5М, АМг6М ($\sigma = 280 \text{ МПа}$, $\delta = 15 \%$). Зі сплавів АМц і АМг виготовляють лист, прутки, дрот.

Термічно зміцнювані сплави алюмінію за хімічним складом і властивостями більш різноманітні. Їх поділяють на:

- сплави підвищеної пластичності АВ, АД31, АД33 (на основі системи Al-Mg-Si);
- конструкційні сплави (Al-Cu-Mg) – дюралюміни марок Д1, Д16, Д18, В65;
- ковочні (Al-Mg-Si-Cu) марок АК6, АК8;
- високоміцні (Al-Zn-Mg-Cu) марок В95, В96;
- жароміцні сплави систем (Al-Cu-Mg) марок АК4-1 та (Al-Cu-Mn) Д20.

Сплави підвищеної пластичності – авіалі (АВ, АД31, АД33) – містять у своєму складі, крім алюмінію, 0,4 - 1,2 % Mg, 0,3 - 1,2 % Si, 0,15 - 0,35 % Mn, добре зварюються, корозійно стійкі. Термічна обробка їх складається з гартування від $515 - 525^\circ\text{C}$ і старіння (природного або штучного). Штучне старіння проходить значно швидше і здійснюється при $160 - 170^\circ\text{C}$ протягом 12 - 15 год. одразу ж після гартування. Після гартування та штучного старіння

властивості сплаву АВ дорівнюють: $\sigma = 260 - 380$ МПа, $\sigma_T = 200 - 250$ МПа, $\delta = 14 - 20$ %. Зі сплавів АВ, АДЗ виготовляють листи, труби, пресовані профілі, заготовки, ковані деталі двигунів, лопасті гвинтів вертольотів тощо.

Конструкційні сплави (дюралюміні) широко застосовуються у різних галузях техніки. Їх маркують літерою Д, після якої стоїть цифра, що відповідає умовному номеру сплаву. Термічна обробка дюралюмінів складається з гартування від $500 - 510$ °С (охладженням у киплячій воді) і старіння. Природне старіння здійснюють за кімнатної температури протягом 5 - 7 діб, штучне – за температур $150 - 190$ °С протягом 4 - 12 год або при 250 °С протягом 2 - 4 год. Особливістю гартування дюралюмінів є необхідність додержуватися температурного режиму, наприклад, 505 ± 5 °С (для Д1) і 500 ± 5 оС (для Д16, Д18). Дюралюмін Д16 має найбільшу міцність після гартування та природного старіння: $\sigma_B = 480$ МПа, $\sigma_T = 320$ МПа, $\delta = 14$ % (лонжерони, шпангоути, обшивки літаків). Дюралюмініни виробляють у вигляді листа, пресованих і катаних профілів, прутків, труб. Для підвищення корозійної стійкості їх піддають плакуванню. Відповідно при маркуванні таких сплавів додають літеру А, наприклад Д16А, Д1А. Сплави Д18 і В65 є основними алюмінієвими заклепочними сплавами. Найбільш широко дюралюмініни застосовуються в авіаційній промисловості та будівництві.

Алюмінієві сплави, придатні для кування (ковочні), позначають літерами АК і відносять до системи Al-Cu-Mg-Si. Вони пластичні, стійкі до утворення тріщин під час гарячої пластичної деформації. Ці сплави (АК6, АК8) за хімічним складом близькі до дюралюмінів і відрізняються високим вмістом кремнію (0,7 - 1,2 %). Сплави АК6 і АК8 застосовують після гартування від 520 ± 5 °С (АК6) і 505 ± 5 °С (АК8) та штучного старіння при $160 - 170$ °С протягом 12 - 15 год. після термічної обробки механічні властивості цих сплавів такі: $\sigma_B = 400$ МПа, $\delta = 12$ % (АК6); $\sigma_B = 480$ МПа, $\delta = 19$ % (АК8). Проте обидва сплави мають низьку корозійну стійкість і потребують додаткових заходів щодо захисту від корозії. З них виготовляють штамповані та куті деталі складної форми і середньої міцності (АК6) – під моторні рами, крепіж, а також високонавантажені штамповані деталі (АК8), як пояси лонжеронів, лопасті гвинтів вертольотів, бандажі вагонів.

Високоміцні алюмінієві сплави (В95, В96) окрім міді і магнію містять у своєму складі значну кількість цинку (5 - 8,6 %). Підвищену міцність цих сплавів зумовлює наявність в їхній структурі після гартування від $460 - 470$ °С у воді і штучного старіння при $120 - 140$ °С протягом 24 - 16 год. після термічної обробки механічні властивості для сплаву В95 такі: $\sigma_B = 550 - 600$ МПа, $\sigma_T = 530 - 550$ МПа, $\delta = 8$ %; для сплаву В96 $\sigma_B = 700$ МПа, $\sigma_T = 650$ МПа, $\delta = 7$ %. Сплави В95 і В96 застосовують у літакобудуванні для конструкцій високого навантаження і тривалої експлуатації за температур до 100 °С. До недоліків цих матеріалів відносять невисокі пластичність, в'язкість руйнування і низьку корозійну стійкість під напруженням. Підвищення цих характеристик сприяє двоступінчасте пом'якшуюче старіння.

Жароміцні сплави використовують для експлуатації при температурах до 300 °С (поршні, головки циліндрів, диски і лопатки компресорів реактивних двигунів, обшивка надзвукових літаків). Найбільш поширені сплави типу АК4-1 системи Al-Cu-Mg-Si з добавками заліза та нікелю; Д20 системи Al-Cu-Mn з добавками титану та цирконію. Після гартування від 530 ± 5 °С і штучного старіння сплав АК4-1 має такі механічні характеристики: $\sigma_B = 300 - 180$ МПа, $\sigma_T = 190 - 120$ МПа, $\delta = 18 - 12$ %. Сплав Д20 має такі характеристики механічних властивостей: $\sigma_B = 420$ МПа, $\sigma_T = 330$ МПа, $\delta = 11$ %. Перспективними жароміцними сплавами алюмінію є сплави системи Al-Mg-Li, що поєднують високу міцність, низьку питому вагу і достатню жароміцність.

Ливарні сплави алюмінію використовують для виготовлення фасонних виливків різної форми та призначення. До їх складу входять ті самі легуючі компоненти, що й до

деформованих сплавів, але у більшій кількості (до 9 - 13 % для кожного компонента). Промисловість виробляє ливарні алюмінієві сплави (АЛ) марок від АЛ1 до АЛ33 при маркуванні цих сплавів літера А означає, що сплав алюмінієвий, літера Л – що сплав ливарний, а цифра – порядковий номер сплаву. За хімічним складом ливарні алюмінієві сплави можна поділити на кілька груп. Наприклад, алюміній з кремнієм (АЛ2, АЛ4, АЛ9) або алюміній з магнієм (АЛ8, АЛ13, АЛ22 та інші).

Типовими є сплави системи Al-Si (10 - 13 % Si) – силуміни. Розчинність Si в Al мала (0,8 % при 500 °C; 0,05 % при 20 °C). Тому сплави, які складаються лише з Al та Si, практично не зміцнюються термічною обробкою і в системі Al-Si можуть бути сплави, що частково або повністю складаються з евтектики. Введення в силуміни Cu, Mg сприяє зміцненню сплаву при старінні; Ti, Zr подрібнюють структуру; Mn покращує корозійну стійкість; Ni і Fe підвищують жаростійкість.

Властивості алюмінієвих ливарних сплавів залежать від способу лиття та виду термічної обробки, швидкості охолодження при твердненні виливка і під час гартування. Для ливарних сплавів алюмінію характерна більш груба крупнозерниста структура. Це зумовлює режими їх термічної обробки. Тому для гартування силуміни нагрівають до 520 - 540 °C і витримують 5 - 10 год для більш повного розчинення включень. Штучне старіння здійснюють при 150 - 180 °C протягом 10 - 20 год. З силумінів виготовляють деталі, які працюють при невеликих (АЛ2), середніх (АЛ4) і вібраційних (АЛ8) навантаженнях, а також при підвищенні до 150 - 170 °C температурах (АЛ1, ОВ) тощо.

Спечені алюмінієві порошки (САП) сплави на основі Al та Al_2O_3 одержують шляхом брикетування порошку алюмінію, вакуумної дегазації брикетів з подальшим їх спіканням під тиском. Вміст Al_2O_3 у спечених сплавах алюмінію знаходиться у межах від 6 - 9 % (САП1) до 18 - 22 % (САП4). Дрібні частинки Al_2O_3 гальмують рух дислокацій у сплаві і підвищують його міцність. Жаростійкість САП матеріалів при тривалому нагріванні зберігається до 500 °C, а при короткочасному – до 1000 °C.

Завдання

1. Властивості алюмінію.
2. Назвіть основні сплави алюмінію, їх властивості, застосування.