به نام خدا

الیاژهای غیر اهنی

فصل اول

عنوان فصل:آلومنیوم و آلیاژهای آن

طبقه بندی و علامتگذاری آلیاژهای آلومنیوم

طبقه بندی:

آلومنیوم کارشده و آلیاژهای آلومنیوم کار شده:

- یک سیستم علامتگذاری ۴ رقمی برای شناسایی آلومنیوم کارشده وآلیاژهای آلومنیوم کارشده استفاده می شود اولین رقم گروه آلیاژی را نشان میدهد.آخرین دورقم آلیاژآلومنیوم

یا خلوص آلومنیوم ورقم دوم بهسازی آلیاژ اصلی یا حدود ناخالصی را نشان میدهد.

جدول ۱-۱ گروه های آلیاژی آلومنیوم کار شده را لیست نموده است.

جدول ۱-۱

جدول (۱ - ۱): گروه‌های آلیاژی آلومینیم کار شده

Aluminum, 99.00 percent minimum and greater	1xxx
Aluminum alloys grouped by major alloying elements	
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium and silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Other element	8xxx
Unused series	9xxx

آلیاژ های ریختگی:

یک سیستم علامتگذاری عددی ۴رقمی برای شناسایی آلومنیوم وآلیاژهای آن به شکل قطعه و شمش ریختگی استفاده میشود که اولین رقم گروه آلیاژی را نشان میدهد. دومین دورقم آلیاژ آلومنیوم یا خلوص آلومنیوم ورقم آخر که از سایرین با یک نقطه اعشاری جدا میشود

فرم تولید را نشان می دهد.صفر نشان دهنده قطعه ریخته شده ویک نشان دهنده شمش است.یک عمل بهسازی بر آلیاژاصلی یا حدودناخالصی با یک حرف سریال قبل از علائم عددی بیان میشود.حرف برای آلیاژهای آزمایشی استفاده میشود.گرچه آلیاژهای ریختگی عموما با سه رقم معرفی میشوند اما جدول ۲-۱ گروه های آلیاژ آلومنیوم ریختگی را لیست نموده است.

جدول ۲-۱

جدول (۲ - ۱): گروه‌های آلیاژی آلومینیم ریختگی

Aluminum, 99.00 percent minimum and greater	1xx.x
Aluminum alloys grouped by major alloying elements	
Copper	2xx.x
Silicon, with added copper and/or magnesium	3xx.x
Silicon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Zinc	7xx.x
Tin	8xx.x
Other element	9xx.x
Unused series	6xx.x

علائم تمپر:

- این علائم پس از علامتگذاری آلیاژ با یک خط فاصله جدا میشوند زیرمجموعه های تمپراصلی با یک یا بیشترارقام اضافی بعد از آن معرفی میشوند.
  - ۱-بعد از ساخت،بدون کنترل مقدار کرنش سختی F
  - ۲-آنیل و رکریستالیزه شده،تمپر با کمترین استحکام و بالاترین داکتیلیته O
  - ۳-کرنش سخت شده H
  - ۴-عملیات حرارتی به منظور ایجاد تمپرپایدار نسبت به F یا O T

زیرمجموعه های کرنش سختی:

۱- **فقط کرنش سختی**.درجه کرنش سختی بوسیله رقم دوم نشان داده میشود ۲۵%(H12)

تا سختی کامل (H18)،که با ۷۵% کاهش سطح مقطع همراه است. H1

۲- **کرنش سختی و آنیل جزیی**.محدوده تمپر از ۲۵% تا سختی کامل میباشدکه با آنیل جزیی موادکارسرد شده با استحکام بالا حاصل می شود. H2

- تمپرها،H28,H26,H24,H22 می باشند.

۳-**کرنش سخت و پایدارشده**. تمپر برای آلیاژهای آلومنیوم و منیزیم پیرنرم شده که کرنش سخت شده وسپس در یک دمای پایین به منظور افزایش داکتیلیته و خواص مکانیکی پایدار گرم میشوند. H3

- تمپرهاH38,H36,H34,H32 میباشند.

زیرمجموعه های عملیات حرارتی

- 1- عملیات محلولی W
- 2-پیرسختی T
- 3-سرد شده از دمای ساخت وپیری طبیعی، T1
- 4-سردشده از دمای ساخت،کارسردشده و پیری طبیعی T2
- 5-عملیات محلولی،کارسرد وپیری طبیعی T3
- 6-عملیات محلولی وپیری طبیعی T4

- 7-سردشده از دمای ساخت و پیری مصنوعی T5
- 8-عملیات محلولی و پیری مصنوعی T6
- 9-عملیات محلولی و پایداری توسط overaging T7
- 10-عملیات محلولی،کارسرد وپیری مصنوعی T8
- 11-عملیات محلولی،پیری مصنوعی وکارسرد T9
- 12-سردشده از دمای ساخت،کارسردشده و پیری مصنوعی T10

آلومنیوم خالص تجاری:

- ترکیب شیمیایی وکاربرد:آلومنیوم خالص تجاری دارای حدود ۹۹٫۳% تا ۹۹٫۷% آلومنیوم میباشد.آلومنیوم با خلوص بالاتر برای کاربردهایی چون هدایت کننده های الکتریکی انتخاب میشود.در خلوص کمتر اگر لازم شودآهن ومس افزوده شده تا آلیاژ ۱۱۰۰ که آلومنیوم خالص تجاری استاندارد نامیده میشود تولید گردد.این آلیاژ نسبتا نرم وداکتیل بوده و کارپذیری و قابلیت جوشکاری عالی دارد.آلومنیوم خالص تجاری مستعد به تمام کاری تزیینی بوده و مقاومت به خوردگی عالی دارد.جدول ۳-۱ ترکیب شیمیایی وانواع مختلف کاربرد آلومنیوم خالص تجاری را لیست نموده است.

جدول ۳-۱

جدول (۳ - ۱): ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیم خالص تجاری

Alloy	% Purity‡	% Si	% Fe	% Cu	Applications
1050	99.50	0.25	0.40	0.05	Coiled tubing, extruded
1060	99.60	0.25	0.35	0.05	Chemical equipment; railroad tank cars
1100	99.00	1.0 Si + Fe		0.12 nom.§	Sheet metal work; spun hollow ware; fin stock
1145	99.45	0.55 Si + Fe		0.05	Foil for capacitors; fin stock
1175	99.75	0.15 Si + Fe		0.10	Reflector sheet
1200	99.00	1.0 Si + Fe		0.05	Coiled tubing, extruded; sheet metal work
1230	99.30	0.7 Si + Fe		0.10	Cladding for sheets and plates
1235	99.35	0.65 Si + Fe		0.05	Foil for capacitors; tubing
1345	99.45	0.30	0.40	0.10	—
1350	99.50	0.10	0.40	0.05	Electrical conductors

† After "ASM Databook," published in *Met. Prog.*, vol. 116, no. 1, mid-June 1979.
‡ Al min.
§ 0.05 to 0.20 range.

ساختمان: ساختمان آلومنیوم آلیاژنشده (1XXX)بوسیله زمینه آلومنیوم نسبتا خالص مشخص میگردد.اجزای غیرقابل حل در آلومنیوم خالص تجاری عمدتا آهن وسیلیسیم میباشد.همانگونه که درشکل ۱-۱ و ۲-۱ نشان داده شده است،مقدار اجزا تابعی از خلوص و توزیع آنها تابع نوع ساخت میباشد. از آنجا که هرآلیاژ آلومنیوم تجاری شامل ناخالصی های آهن وسیلیسیم میباشد،اجزای سیلیسیم وآهن غیر قابل حل در همه نوع آن وجود دارد.

خواص مکانیکی: خواص مکانیکی آلومنیوم تجاری درجدول ۴-۱ لیست شده است. استحکام کششی ۹۹٫۹۹% آلومنیوم درشرایط آنیل حدود 6.5 ksi با یک استحکام تسلیم ۱٫۵ksi وازدیاد طول نسبی ۵۰% میباشد.

هنگامیکه حد ناخالصی ها افزایش می یابد استحکام آلومنیوم خالص تجاری افزایش یافته وبه یک ماکزیمم درسریهای (1XXX)در آلیاژ ۱۰۰ میرسد. آلیاژ ۱۰۰ کاملا سخت دارای استحکام کششی حدود 24 ksi با یک استحکام تسلیم 24 ksi ویک ازدیاد طول نسبی فقط ۵% میباشد.

شکل ۱-۱ و ۱-۲

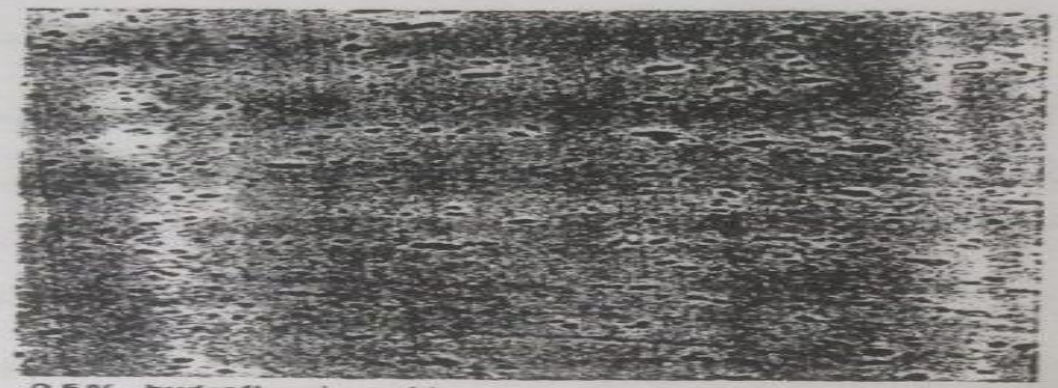


FIGURE
Alloy 1100-H18 sheet, cold-rolled. Structure shows metal flow around insoluble particles of $FeAl_3$ (black). Particles are remnants of scriptlike constituents in the ingot that have been fragmented by working. (*After Metals Handbook, 8th ed., vol. 7, American Society for Metals, 1972, p. 242.*)

شکل (۱ – ۱): ساختار ورق آلیاژ 1100-H18

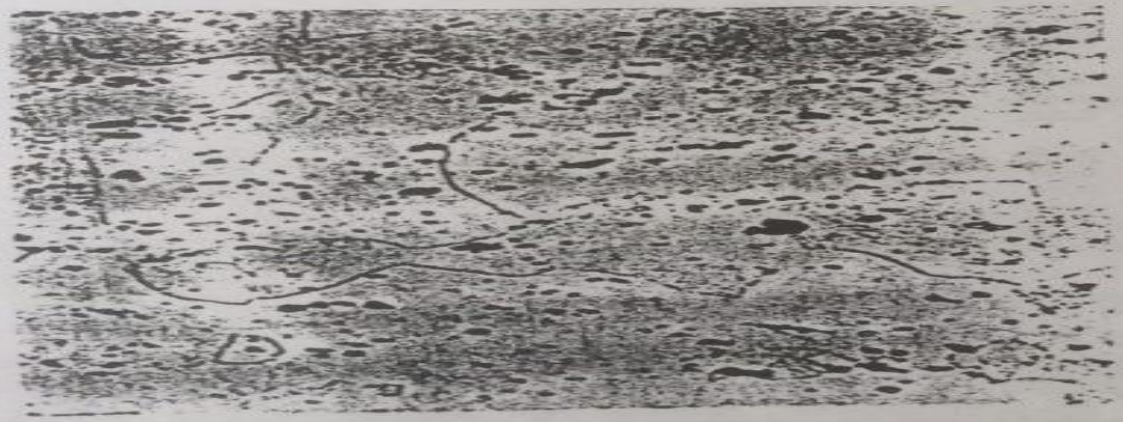


FIGURE
Alloy 1100-0 sheet, cold-rolled and annealed. Recrystallized, equiaxed grains, and insoluble particles of $FeAl_3$ (black). Size and distribution of $FeAl_3$ in the worked structure were unaffected by annealing. (0.5% hydrofluoric acid; 500×.) (*After Metals Handbook, 8th ed., vol. 7, American Society for Metals, 1972, p. 242.*)

شکل (۲ – ۱): ساختار ورق آلیاژ 1100-O

جدول۴-۱

Typical mechanical properties of commercially pure aluminum

Alloy	Temper	Tensile strength, psi	Tensile yield strength,* psi	Elon-gation, % in 2 in	Hard-ness,† Bhn	Shear strength, psi	Fatigue limit,‡ psi
1199	O	6,500	1,500	50			
	H18	17,000	16,000	5			
1180	O	9,000	3,000	45			
	H18	18,000	17,000	5			
1060	O	10,000	4,000	43	19	7,000	3000
	H14	14,000	13,000	12	26	9,000	5000
	H18	19,000	18,000	6	35	11,000	6500
EC	O	12,000	4,000	23§		8,000	
	H14	16,000	14,000			10,000	
	H19	27,000	24,000	2.5§		15,000	
1145	O	11,000	5,000	40		8,000	
	H18	21,000	17,000	5		12,000	
1100	O	13,000	5,000	35	23	9,000	5000
	H14	18,000	17,000	9	32	11,000	7000
	H18	24,000	22,000	5	44	13,000	9000

جدول (۴ - ۱): خواص مکانیکی آلومینیم خالص تجاری

آلیاژهای Cu_Al

- **ترکیب شیمیایی** وکاربرد:اولین آلیاژ دوتایی کارشده رایج در ایالات متحده آلیاژ۲۰۲۵ شامل ۵/۵% مس بود.اگر چه این آلیاژ درحدود ۱۹۲۶ معرفی شد اما استفاده از آن محدود بود.آلیاژ۲۲۱۹ شامل ۶/۳ % مس درسال ۱۹۵۴رواج یافت وجایگزین آلیاژ ۲۰۲۵ شد. آلیاژ ۲۲۱۹ محدوده بالاتر وگسترده تری ازاستحکام همچنین جوشکاری خوب را دارا بوده ومقاومت بهتر به تنشSCC خوردگی وخواص دمایی بالاتری دارد.
- آلیاژ ۲۰۱۱ با ۵/۵%مس، ۰/۴%Bi، با ویژگی برش و تراشه برداری خوب برای فرآوردهایی که نیاز به سرعت تولید بالا دارند استفاده میشود.جدول ۵-۱ ترکیب شیمیایی آلیاژهای آلومنیوم –مس کارشده و کاربرد آنها را لیست نموده است.

جدول۵-۱

جدول (۵ - ۱): ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیم - مس

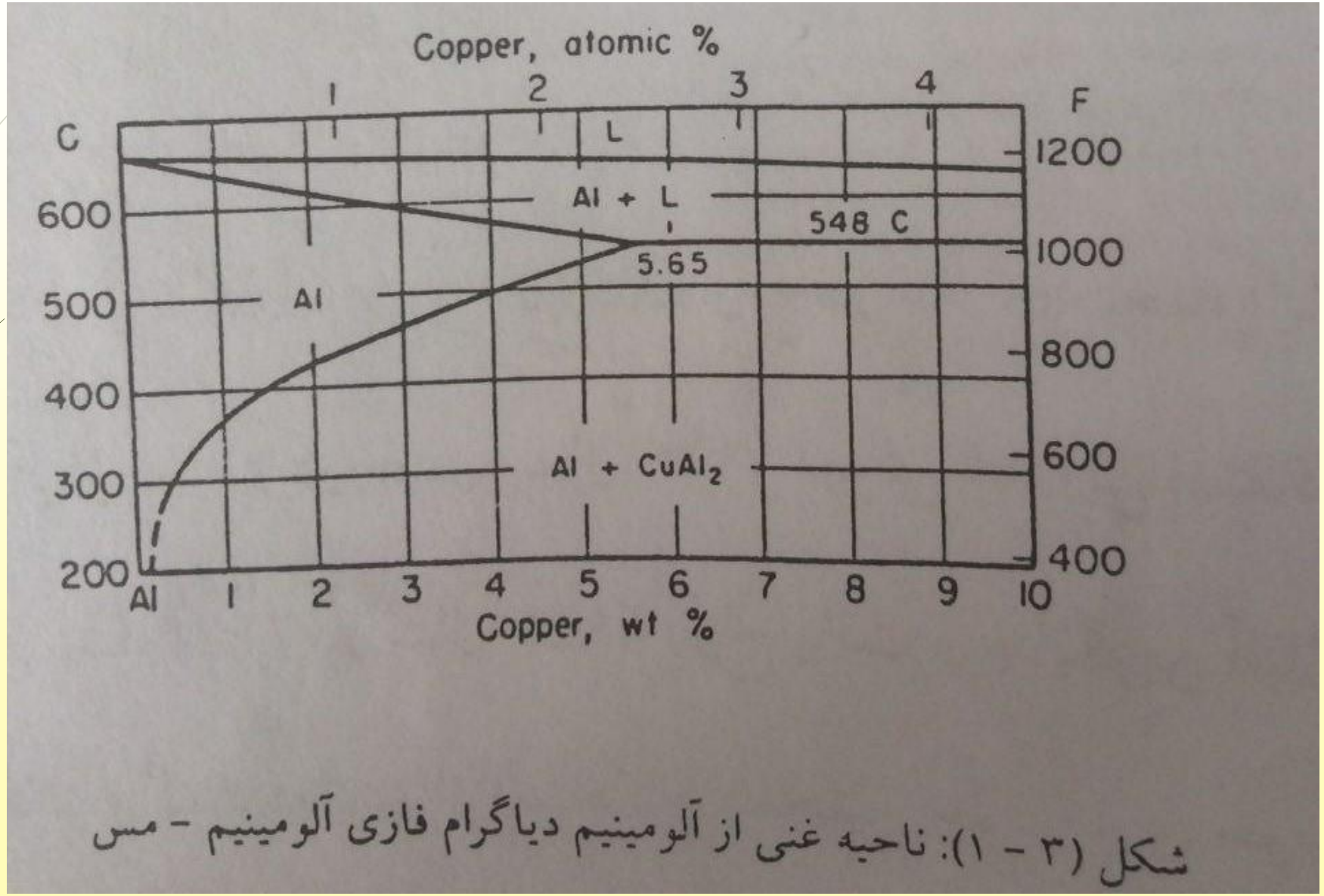
Chemical compositions and applications of aluminum-copper alloys†

Alloy	% Cu	% Mn	% Other	Applications
2011	5.5		0.4 Bi, 0.4 Pb	Screw-machine products
2025	4.5	0.8	0.8 Si	Forgings, aircraft products
2219	6.3	0.3	0.06 Ti, 0.10 V, 0.18 Zr	Structural use to 660°F, high-strength weldments for cryogenic and aircraft parts
2419‡	6.3	0.3	0.06 Ti, 0.10 V, 0.18 Zr	Same as 2219 plus high fracture toughness

آلیاژهای Al-cu دوتایی:

- مس یکی از مهمترین عناصر آلیاژی برای آلومنیوم میباشد واز آنجاییکه استحکام محلول جامد قابل ملاحظه ای را بوجود میاورد با عملیات حرارتی مناسب میتوان به استحکام بالا با تشکیل رسوب رسید. ماکزیمم حلالیت جامد مس در آلومنیوم،۵/۶۵% ودردمای یوتکتیک ۵۴۸ درجه سانتیگراد میباشد که درشکل ۳-۱نشان داده شده است. حلالیت مس در آلومنیوم به سرعت با کاهش دما از ۵/۶۵% به ۰/۱% در دمای اتاق کاهش می یابد.

شکل۳-۱



شکل (۳ - ۱): ناحیه غنی از آلومینیم دیاگرام فازی آلومینیم - مس

عملیات حرارتی استحکام رسوبی برای آلیاژهای Al-cu

- عملیات حرارتی استحکام رسوبی برای آلیاژهای Al-cu :به منظور رسیدن به اثر استحکام رسوبی (بدون تغییر فرم سرد)،آلیاژ Al-cu باید طبق مراحل زیر تحقق یابد:
- ۱-عملیات حرارتی محلولی درحوزه فاز محلول جامد آلفا(حدود۵۱۵درجه سانتیگراد)
- ۲ –کوئنچ سریع
- ۳-پیری مصنوعی تا دمای اتاق تو محدوده ۱۳۰ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد
- _دراستحکام رسوبی این مراحل را برای آلیاژ Al-4%cu داریم:
- ۱-عملیات حرارتی محلولی:آلیاژAl-4%cu باید ابتدا تا حدود ۵۱۵ گرم حل شود تا اتمهای Al و مس به طور رندم دریک محلول جامد یکنواخت دیفیوژن شوند.آلیاژ در این مرحله از محلول جامد آلفا تشکیل شده است.اولین مرحله عملیات حرارتی درایجاد استحکام رسوبی حلالسازی(solutionizing)نام دارد.

- ۲-کوئنچینگ:بعد از عملیات حرارتی محلولی آلیاژتا دمای اتاق کوئنچ میشود(سردکردن سریع در آب).این عملیات یک محلول جامد فوق اشباع از مس درآلومنیوم را بوجود می آورد. آلیاژ Al-4%cu در این شرایط پایدار نبوده سعی در تشکیل فاز نیمه پایدار برای کم کردن انرژی سیستم دارد. نیروی محرکه برای رسوب فازهای نیمه پایدار حالت انرژی بالای محلول جامد فوق اشباع ناپایدار مس در آلومنیوم می باشد.
- ۳-پیری:اگر رسوب زدایی یک فاز نیمه پایدار دردمای اتاق رخ دهد،به آلیاژهای پیری طبیعی اطلاق میگردد.اگرچه بیشتر آلیاژها بطور طبیعی تا یک استحکام رضایت بخشی در دمای اتاق پیر میشوند،بیشتر آلیاژها دریک دمای بالاتر پیرسخت میشوندیا بطور مصنوعی پیر میشوند.در یک حالت از آلیاژ Al-4%cu از دمای پیرسختی مصنوعی استفاده شده عموما بین ۱۳۰ تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد میباشد.

ساختارهای تشکیل شده درمدت پیری آلیاژهایAl-cu

- دراستحکام رسوبی آلیاژهای Al-cu ، ۵ ساختار متوالی میتوانند شناسایی بشوند.
- ۱-محلول جامد فوق اشباع ۲-نواحی GP1 ۳-نواحی GP2 (که فاز θ" نامیده میشود) ۴- فاز تتا ، CuAl2. همه فازها دردمای پیری تشکیل نمیشوند،GP1 وθ" بالای دماهای حد حلالیت جامد تشکیل نمیشوند ونیاز به دمای پیری بالا برای تشکیل θ′وθ" میباشد.
- _نواحیGP1 : این نواحی در دماهای کمتر تشکیل میشوند (زیر ۱۳۰ درجه سانتیگراد)و بوسیله جدایش اتمهای مس در محلول جامد فوق اشباع آلیاژهای Al-cu ایجاد میشوند.نواحی GP1 از دیسک هایی با ضخامت چند اتم (۴تا ۶ آنگستروم) وقطر حدود ۸۰ تا ۱۰۰ آنگستروم روی صفحات (۱۰۰) زمینه تشکیل میشوند،ساختمان واقعی نواحی GP1 مشخص نیست اما مشخص شده که این نواحی دارای مس کمی میباشند. از آنجا که اتم مس دارای قطر حدود ۱۱ درصد کمتر از اتم آلومنیوم است،پارامتر شبکه مکعبی این نواحی کمتر از زمینه بوده بطوریکه دارای کرنش تتراگونال هستند.نواحیGP1 میتوانند به علت حوزه کرنشی همراه با خود در میکروسکوپ الکترونی دیده شوند.این نواحی حرکت نابه جایی ها را متوقف نموده وموجب افزایش سخت شوندگی وکاهش درداکتیلیته آلیاژ-Al 4%cu شوند . در شکل ۴-۱ این موضوع نشان داده شده است.

شکل ۴-۱

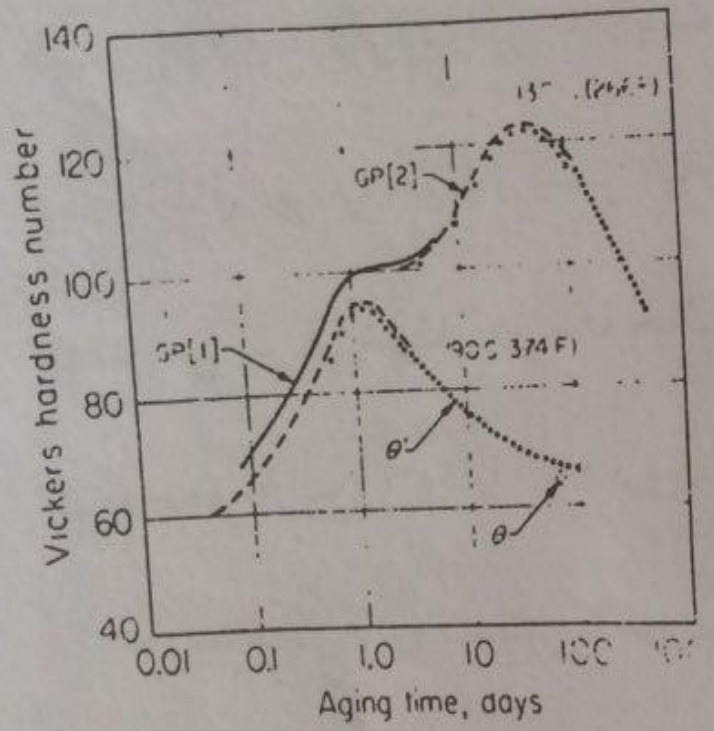


FIGURE
Correlation of structures and hardness of Al–4% Cu alloy aged at 130 and 190°C. [*After J. M. Silcock, T. J. Heal, and H. K. Hardy, J. Inst. Met. 82(1953–54):239, as presented in K. R. Van Horn (ed.), "Aluminum," vol. 1, American Society for Metals, 1967, p. 123.*]

شکل (۴ - ۱): ارتباط ساختار و سختی آلیاژ Al-4%Cu پیر شده در ۱۳۰ و ۱۹۰ درجه سانتیگراد

آلیاژهای غیرآهنی

جلسه دوم

نواحی GP2 (θ'') همانند نواحی GP1، نواحی GP2 دارای یک ساختارتتراگونال و کوهیرنت با صفحات (۱۰۰)زمینه در Al-40%Cu یا آلیاژهای نوع مشابه می باشند. در مراحل جلوتر از تشکیل آنها ، نواحی GP2 دارای مقدار مس کم می باشند.با افزایش زمان پیری مقدار مس نواحی همچنین اندازه آنها افزایش می یابد محدوده و اندازه برای نواحی GP2 به ضخامت ۴۰ تا ۱۰ A و قطر ۱۰۰۰تا ۱۰۰ A می باشد.پارامتر شبکه C در مرحله نزدیکتر از پیری ۸,۰۸ A بوده و به ۷,۵۶ در مراحل آخر پیری با بزرگ شدن نواحی کاهش می یابد.این تغییر بعلت غنی شدن نواحی از مس رخ می دهد.نواحی GP2 سختی آلیاژ AL-4%Cu وقتی ۱۳۰و ۱۹۰درجه سانتی گراد پیر میشود افزایش میدهند. شکل (۴-۱)

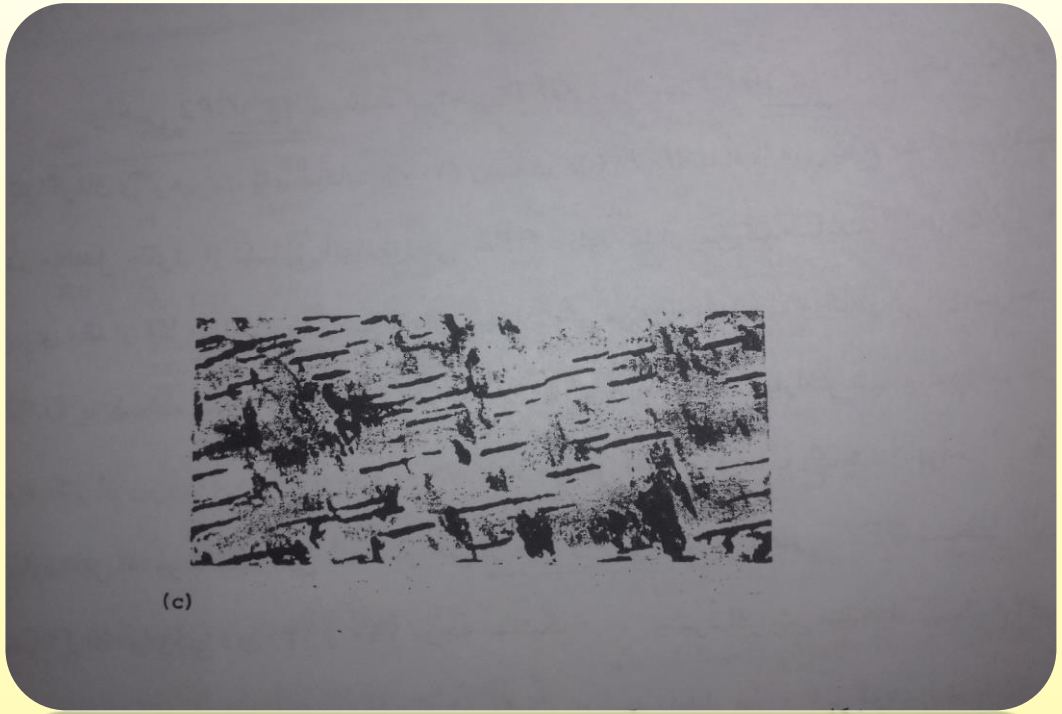
فاز θ' : درoveraginig آلیاژ Al-4%Cu فاز نیمه پایداربطور غیر کوهیرنت با زمینه بطور عمده تشکیل می شود این فاز بطور هتروژن خصوصا روی نابجایی ها جوانه میزند .اندازه فاز بستگی به زمان و دمای پیری دارد و محدوده آن از ۱۰۰ تا ۶۰۰۰ Aیا بیشتر در قطر و با یک ضخامت ۱۰۰تا۱۵۰ A میباشد این فاز دارای ساختمان تتراگونال بوده اما پارامتر Cبه ۵,۸ Aکاهش یافته است.

شکل(۵-۱) رسوبات در یک آلیاژ Al-4%Cuبعد از پیری به مدت ۳ روز در ۲۰۰ درجه سانتیگراد را نشان میدهد.در چنین حالتی آلیاژ در حالت overagedاست.شکل(۴-۱). فاز θ پیری در دماهای حدود ۱۹۰c یا بالاتر برای زمانهای طولانی فاز Aغیرکوهیرنت تعادلی را بوجود خواهد آورد .

این فاز دارای ساختمان BCT با c=4.87A , d=6.07 Aاست . θ می تواند از θ' یا مستقیما از زمینه تشکیل شود .

فاز θ که با مصرف فاز θ' تشکیل می شود .در شرایط کاملا overage حضور دارد .

شکل(۴-۱)توالی عمومی رسوب در آلیاژهای آلومینیوم -مس دوتایی به شکل زیر ارایه میشود.:



$(\theta'') \Rightarrow \theta' \Rightarrow \theta\ (CuAl_2)$ نواحی GP2 _ نواحی GP1 محلول جامد فوق اشباع آلیاژ های آلومینیوم – مس کار شده ، مهم ترین آلیاژهای آلومینیوم – مس ۲۰۲۵ – ۲۲۱۹ و ۲۰۱۱ هستند. آلیاژ ۲۲۱۹ که جایگزین آلیاژ ۲۰۲۵ شده است دارای رنج گسترده ای از استحکام می باشد. جوشکاری خوب مقاومت به خوردگی توأم با تنش (SCC) خوب و خواص عالی در دمای بالا دارد. ساختمان ۲۲۱۹ در حالت پیر سختی شامل رسوبات θ می باشد. فاز(θ'')اضافی در مدت عملیات حرارتی محلولی حل شده و ضرورتاً بدون تغییر در مدت گرم و سرد کردن باقی می ماند و انتظار داریم که استحکام آلیاژ را افزایش دهد.

خواص مکانیکی آلیاژ ۲۰۲۵، ۲۲۱۹ در جدول ۶-۱ لیست شده است.

استحکام کشش نهایی آلیاژ ۲۲۱۹ می تواند به 69KSI با عملیات ترمومکانیکال مناسب افزایش یابد. افزایش رسوبات می تواند در آلیاژ به وسیله کرنش سختی بعد از عملیات حرارتی محلولی و قبل از پیری مصنوعی به وجود آید. افزایش دانسیته رسوبات به وجود آمده از کرنش سختی انعکاس در افزایش استحکام به دست آمده در تمپر T8 آلیاژ ۲۲۱۹ خواهد داشت.

سختی انعکاس در افزایش استحکام به دست آمده در تمپر T8 آلیاژ ۲۲۱۹ خواهد داشت.

حضورMn,Zr,V,Ti در آلیاژ ۲۲۱۹ دمای رکریستالیزاسیون را افزایش می دهد. به طوریکه استحکام بالاتری در دمای بالا حفظ می کند. شکل ۶-۱ رفتار تنش پایداری – گسیختگی آلیاژ ۲۲۱۹ را بعد از ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساعت در ۲۰۰ و ۳۱۵ درجه سانتی گراد نشان می دهد. براساس خلوص بیشتر (آهن کمتر از ۰,۱۸ و سیلیسیوم کمتر از ۰,۱۵) آلیاژ ۲۴۱۹ معرفی شده که دارای تافنس شکست بالاتر برای کاربرد در هواپیما می باشد.

جدول (۶ – ۱): خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم - مس عملیات حرارتی پذیر

Typical mechanical properties of heat treatable aluminum-copper alloys

Alloy	Temper	Tensile strength, psi	Tensile yield strength,* psi	Elon-gation, % in 2 in	Hard-ness, Bhn†	Shear strength, psi	Fatigue limit,‡ psi
2011	T3	55,000	43,000	15	95	32,000	18,000
	T6	57,000	39,000	17	97	34,000	18,000
	T8	59,000	45,000	12	100	35,000	18,000
2025	T6	58,000	37,000	19	110	35,000	18,000
2219	O	25,000	10,000	20			
	T31, T351	54,000	36,000	17	100	33,000	
	T37	57,000	46,000	11	117	37,000	
	T62	60,000	42,000	10	115	37,000	15,000
	T81, T851	66,000	51,000	10	130	41,000	15,000
	T87	69,000	57,000	10	130	41,000	15,000

آلیاژ ۲۰۱۱ با ۵/۶ درصد مس و با 0.04%Bi و 0.04%Pb اساس آلیاژ ماشین پیچ زن می باشد، دارای ویژگی برش خوب بوده و تراشه های ریزی را تولید می کند که به آسانی شکسته می شوند. گرچه سرب و بیسموت مقاومت به خوردگی Al-Cu را پایین می آورند.

آلیاژهای Al-Mn :

ترکیب شیمیایی و کاربرد :

افزودن حدود 1.2%Mn به آلومینیوم خالص تجاری (0.2% Si , %0.06 Fe) یک آلیاژ آلومینیوم غیرقابل عملیات حرارتی نسبتاً قوی را تولید می کند. افزودن منگنز آلومینیوم را با تشکیل محلول جامد و توزیع رسوبات ریز مستحکم می نماید، استحکام بیشتر با افزودن Mgبه میزان ۰,۱ به دست می آید. این آلیاژها برای مصارف عمومی جاییکه استحکام متوسط و کارپذیری خوب مورد نیاز است استفاده می شوند. جدول ۷-۱ ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیوم – منگنز و آلومینیوم – منیزیم را لیست نموده است.

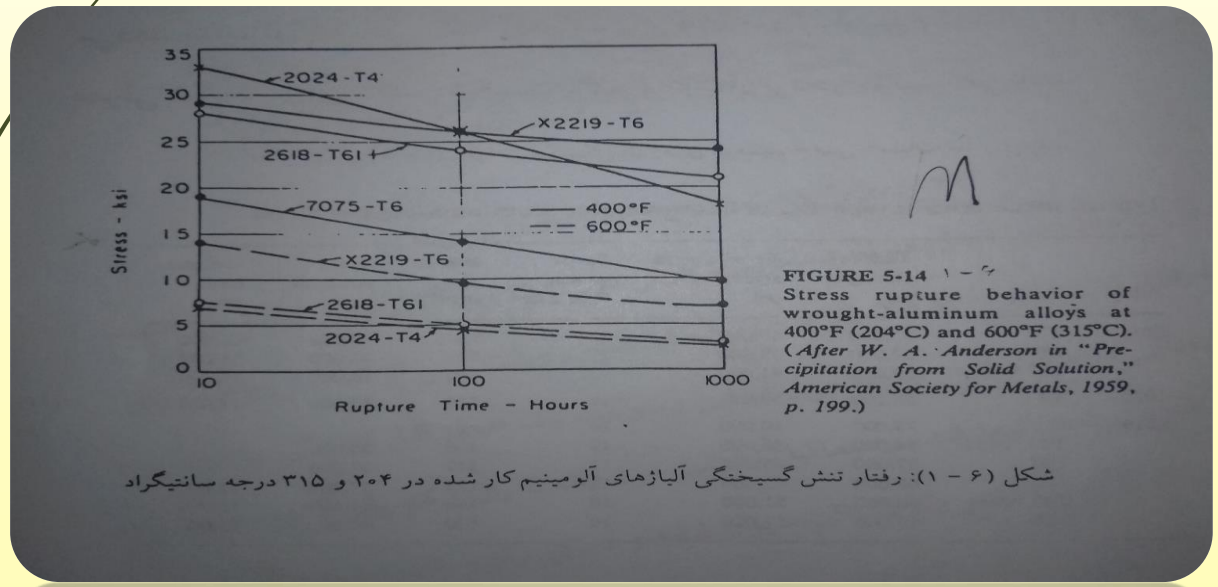


FIGURE 5-14
Stress rupture behavior of wrought-aluminum alloys at 400°F (204°C) and 600°F (315°C). (*After W. A. Anderson in "Precipitation from Solid Solution," American Society for Metals, 1959, p. 199.*)

شکل (۶ – ۱): رفتار تنش گسیختگی آلیاژهای آلومینیم کار شده در ۲۰۴ و ۳۱۵ درجه سانتیگراد

جدول (۷ – ۱): ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیم – منگنز

TABLE
Chemical compositions and applications of aluminum-manganese alloys*

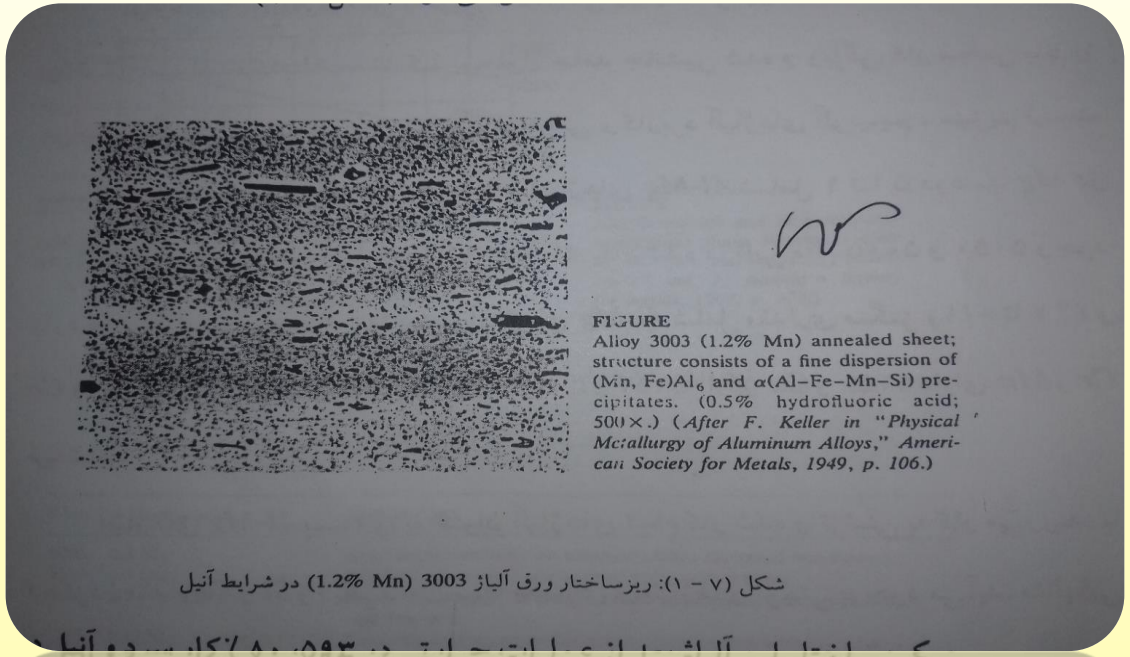
Alloy	% Mn	% Mg	% Cu	Applications
3003	1.2		0.12	Cooking utensils, chemical equipment, pressure vessels, sheet metal work, builders' hardware
3004	1.2	1.0		Sheet metal work, storage tanks, pressure vessels
3005	1.2	0.40		Building products—siding, gutters, etc.
3105	0.5	0.50		Building products—siding, gutters, etc.

* After "ASM Databook," published in *Met. Prog.*, vol. 116, no. 1, mid-June 1979.

ساختمان :

میکرو ساختار ورق آلیاژ ۳۰۰۳ (1.2%Mn) در شرایط آنیل در شکل ۷-۱ نشان داده شده است اگر آلیاژ در یک دمای بالا پیشگرم شود (حدود ۶۰۰ درجه سلسیوس) تا بسیاری از اجزا شامل منگنز در آن حل شود. سپس کار سرد شده و متعاقباً در ۳۴۰ درجه سلسیوس آنیل شود یک توزیع ریز از اجزا $(Mn,Fe)Al_6$ و α (Al-Fe-Mn-Si)تشکیل می شود.

(شکل ۷-۱)



شکل (۷ - ۱): ریزساختار ورق آلیاژ 3003 (1.2% Mn) در شرایط آنیل

میکرو ساختار این آلیاژ بعد از عملیات حرارتی در ۵۹۳، ۸۰٪ کار سرد و آنیل در ۳۴۳ درجه سلسیوس بوسیله Morris با استفاده از TEM مطالعه و دیده شد که رسوبات غنی از Mn ترجیحاً روی ساختمان نابجائی در مدت آنیل جوانه می زند. این رسوبات یک عمل قفل کنندگی را موجب گشته که مانع حرکت نابجائی ها شده و متعاقباً تشکیل مرز دانه با زاویه کم پلی گانیزه شده را می نمایند. رسوبات بنابراین مانع رکریستالیزاسیون شده و دمای رکریستالیزاسیون آلیاژ را افزایش می دهند. آلیاژ ۳۰۰۵ و ۳۱۰۵ ترکیب مطلوبی از استحکام ، فرم پذیری و مقاومت به خوردگی برای کار در ساختمان و فراورده های خاص دارد.

آلیاژهای Al-Mg

آلیاژهای دوتایی Al-Mg (سری های 5XXXX) آلیاژهای آلومینیوم ؛یرقابل عملیات حرارتی می باشند .اگرچه Mg یک محلول جاند بین نشین در Al تشکیل داده 14.5% at 514°C°C و به مقدار زیادی حلالیت جامد با کاهش دما ، کاهش می یابد .شکل ۸-۱ .آلیاژهای Al-Mg سختی رسوبی را در کمتر از 7% Mg نشان نمی دهند گرچه Mg موجب استحکام Al با تشکیل محلول جامد جانشین شده و ویژگی کارسختی بالا را موجب می گردد.

در جدول ۸-۱ ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیوم – منیزیم لیست شده است.در مصارف عمومی ساختمان آلیاژهای Al-Mg شامل ۱ تا ۵ درصد Mg در مصارف صنعتی می باشد فقط چند آلیاژ Al-Mg کار شده دوتایی مثل ۵۰۰۵ و ۵۰۵۰ وجود دارد برای افزایش استحکام آنها بیشتر آلیاژهای Al-Mg شامل مقداری منگنز (۰,۱ تا ۱٪)و کروم (۰,۱ تا ۰,۲۵ درصد) می باشند .آلیاژ ۵۰۵۲ و ۵۱۵۴ دارای Cuو ۵۰۵۶ دارای Mn , Cr می باشد .

آلیاژهای Al-Mg بسیاری به عنوان آلیاژهای تمام کار شده و تزئینی به کار می روند .با کم کردن مقدار Fe و Si و دیگر ناخالصی ها یکسری از آلیاژهای تزئینی به وجود می آید .مثالهایی از این نوع ۵۰۵۳ ، ۵۲۵۲ و آلیاژهای 5X57 مثل ۵۳۵۷ و ۵۶۵۷ هستند.

آلیاژهای Al-Mg دارای محدوده گسترده ای از استحکام ، ویژگی فرم پذیری ، جوشکاری خوب و مقاومت به خوردگی می باشند .یک خاصیت آلیاژهای Al-Mg قابلیت جوشکاری خوب آلیاژهای با استحکام بالا وقتی تحت فرآیند جوشکاری قوسی با محافظت گاز آرگون قرار می گیرند می باشند.

ساختمان: Mgدر بیشتر آلیاژهای Al-Mg بصورت محلول جامد می باشد اگرچه وقتی مقدار Mg در آلیاژ از

3.5% تجاوز نماید Mg_2Al_3 می تواند با عملیات حرارتی در دمای کم یا بوسیله ی سرد کردن آهسته از دماهای بالا رسوب نماید .

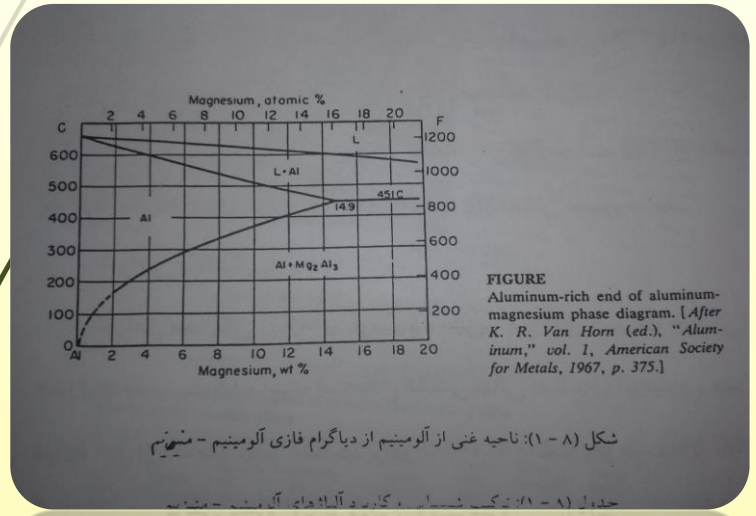


FIGURE
Aluminum-rich end of aluminum-magnesium phase diagram. [*After K. R. Van Horn (ed.), "Aluminum," vol. 1, American Society for Metals, 1967, p. 375.*]

شکل (۸ - ۱): ناحیه غنی از آلومینیم از دیاگرام فازی آلومینیم - منیزیم

جدول (۸ - ۱): ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیم - منیزیم

Alloy	% Composition	Applications
5005	0.8 Mg	Appliances; utensils; architectural trim; electrical conductors
5050	1.4 Mg	Builders' hardware; refrigerator trim; coiled tubes
5052	2.5 Mg, 0.25 Cr	Sheet metal work; hydraulic tubes; appliances; bus, truck and marine uses
5056	0.12 Mn, 5.1 Mg, 0.12 Cr	Cable sheathing; rivets for magnesium; screen wire; zippers
5083	0.7 Mn, 4.45 Mg, 0.15 Cr	Unfired, welded pressure vessels; marine, auto, and aircraft parts; cryogenics; TV towers; drilling rigs; transportation equipment; missile components; armor plate
5086	0.45 Mn, 4.0 Mg, 0.15Cr	
5154	3.5 Mg, 0.25 Cr	Welded structures; storage tanks; pressure vessels; salt-water service
5252	2.5 Mg	Auto and appliance trim
5254	3.5 Mg, 0.25 Cr	Hydrogen peroxide and chemical storage vessels
5356	0.12 Mn, 5.0 Mg, 0.12 Cr	Welding rod, wire, and electrodes
5454	0.8 Mn, 2.7 Mg, 0.12 Cr	Welding structures; pressure vessels; marine service; tubing
5456	0.8 Mn, 5.1 Mg, 0.12 Cr	High-strength welded structures; storage tanks; pressure vessels; marine service
5457	0.3 Mn, 1.0 Mg	Anodized auto and appliance trim (good formability in annealed temper)
5652	2.5 Mg, 0.25 Cr	Hydrogen peroxide and chemical storage vessels
5657	0.8 Mg	Anodized auto and appliance trim (good brightness)

* After "ASM Databook," published in *Met. Prog.*, vol. 116, no. 1, mid-June 1979.

برای مثال : اگر آلیاژ ۵۰۸۶ ، که شامل حدود $4\%Mg$ می باشد کار سرد شده و سپس تا ۱۲۰ الی ۱۸۰ درجه سانتی گراد گرم شود یک شبکه ممتد از Mg_2Al_3 می تواند در مرزدانه رسوب نماید .(شکل ۹-۱) این ساختمان نامطلوب بوده زیرا می تواند آلیاژ را مستعد به SCC نماید لذا مطلوب است که آلیاژ در دمای بالاتر تنش زدایی شود (مثلاً ۲۴درجه) و با فرآیند دقیق باعث توزیع رسوبات ریز Mg_2 Al_3 در سرتاسر زمینه آلیاژ شود .

ذرات سیلیسید منیزیم (Mg_2Si) همچنین در آلیاژ تجاری Al-Mg به نسبت مقدار Si در آلیاژ به علت حلالیت کم Mg_2Si در حضور Mg اضافی حضور دارند .

خواص مکانیکی

خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم – منیزیم غیرقابل عملیات حرارتی کار شده در جدول ۹-۱ لیست شده است استحکام کششی نهایی آلیاژهای آلومینیوم – منیزیم تجاری در شرایط آنیل از یک مقدار کم ۱۸KSi برای آلیاژ 5005-O تا یک مقدار بالا 45KSi برای آلیاژ5456-O تغییر می کند .آلیاژهای 5083-O و 5086-O دارای استحکام کمتری از آلیاژ5456-O (به ترتیب ۴۲و 38KSi) می باشند.فرآورده های کارشده از آلیاژهای آلومینیوم-منیزیم همیشه در شرایط تمپر آنیل و عموما تمپرهای H_3 در دسترس می باشد ،تمپر H_3عموما برای تولیدات کرنش سخت شده استفاده می شود از آنجا که تمپر H_1 معمولا در دمای اتاق پایدار نمی باشد.

تمپر H_3خواص پایدار با محدوده ازدیاد طول نسبی بالاتر ایجاد و ویژگی های فرم پذیری را اصلاح می نماید.

در آلیاژهای Al-Mg که به عنوان عملیات حرارتی ناپذیر شناخته می شوند چنانچه مقدار Mg محلول در دماهای آنیل در آلیاژهای با بیشتر از 4%Mg (مثل ۵۴۵۶،۵۰۵۶،۵۰۸۶،۵۰۸۳) بیشتر از مقدار باقی مانده در محلول جامد در دمای اتاق می باشد . به عنوان یک نتیجه ، اگر آلیاژها به شدت کرنش سختی شده سپس برای یک مدت طولانی در دمای اتاق ذخیره شوند.

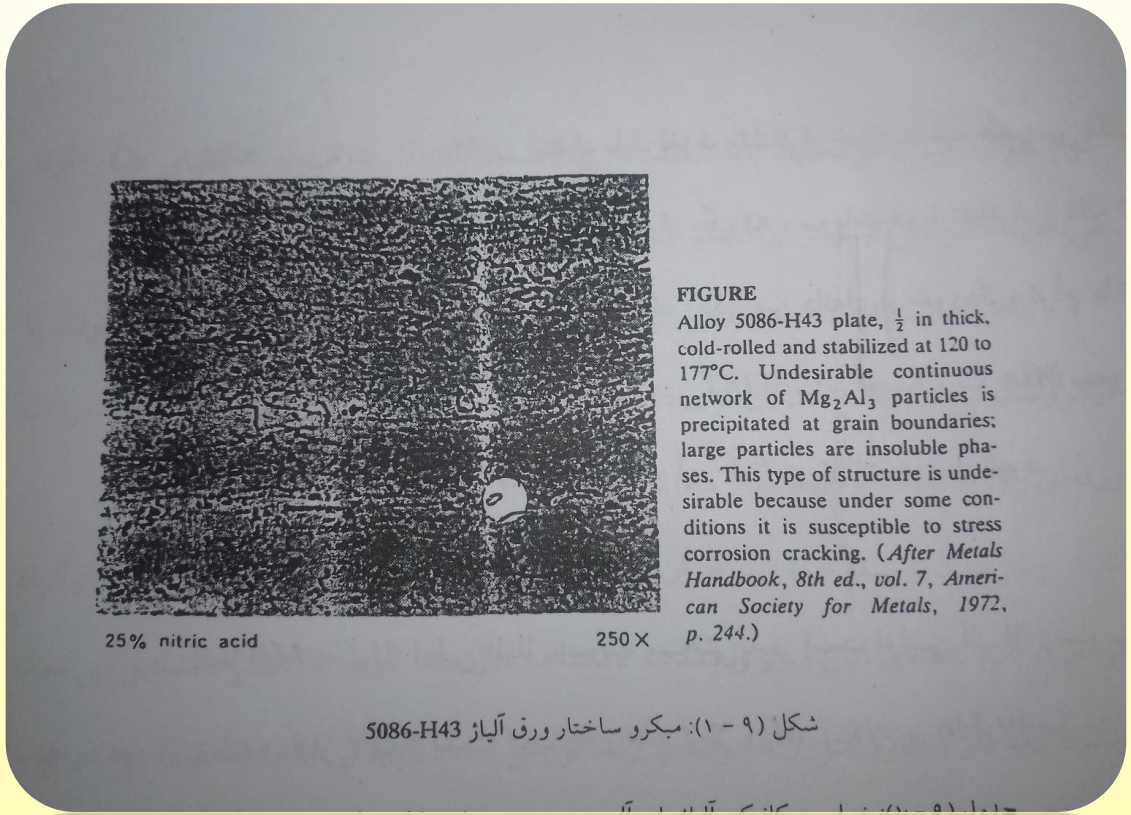


FIGURE
Alloy 5086-H43 plate, $\frac{1}{2}$ in thick, cold-rolled and stabilized at 120 to 177°C. Undesirable continuous network of Mg_2Al_3 particles is precipitated at grain boundaries; large particles are insoluble phases. This type of structure is undesirable because under some conditions it is susceptible to stress corrosion cracking. (*After Metals Handbook, 8th ed., vol. 7, American Society for Metals, 1972, p. 244.*)

شکل (۹ - ۱): میکرو ساختار ورق آلیاژ 5086-H43

جدول (۹ – ۱۰): خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم – منیزیم غیر قابل عملیات حرارتی کار شده

Typical mechanical properties of wrought non-heat-treatable aluminum-magnesium alloys

Alloy	Temper	Tensile strength, psi	Tensile yield strength, psi	Elon-gation, % in 2 in	Hard-ness, Bhn	Shear strength, psi	Fatigue limit, psi
5005	O	18,000	6,000	30	30	11,000	
	H14	23,000	22,000	6	41	14,000	
	H34	23,000	20,000	8	41	14,000	
	H18	29,000	28,000	4	51	16,000	
	H38	29,000	27,000	5	51	16,000	
5050	O	21,000	8,000	24	36	15,000	12,000
	H34	28,000	24,000	8	53	18,000	13,000
	H38	32,000	29,000	6	63	20,000	14,000
5052	O	28,000	13,000	25	47	18,000	16,000
	H34	38,000	31,000	10	68	21,000	18,000
	H38	42,000	37,000	7	77	24,000	20,000
5056	O	42,000	22,000	35	65	26,000	20,000
	H18	63,000	59,000	10	105	34,000	22,000
	H38	60,000	50,000	15	100	32,000	22,000
5082	H19	57,000	54,000	4			
5083	O	42,000	21,000	22	67	25,000	22,000
	H112	43,000	23,000	20	70	25,000	22,000
	H321	46,000	33,000	16	82	28,000	22,000
	H323	47,000	36,000	10	84	27,000	. . .
	H343	52,000	41,000	8	92	30,000	. . .
5086	O	38,000	17,000	22	60	23,000	21,000
	H32	42,000	30,000	12			
	H34	47,000	37,000	10	82	28,000	23,000
	H112	39,000	19,000	14	64	23,000	21,000
5154	O	35,000	17,000	27	58	22,000	17,000
	H34	42,000	33,000	13	73	24,000	19,000
	H38	48,000	39,000	10	80	28,000	21,000
	H112	35,000	17,000	25	63	22,000	17,000
5454	O	36,000	17,000	22	60	23,000	19,000
	H34	44,000	35,000	10	81	26,000	21,000
	H112	36,000	18,000	18	62	23,000	. . .
	H311	38,000	26,000	14	70	23,000	. . .
5456	O	45,000	23,000	24	70	27,000	22,000
	H24	54,000	41,000	12	..	31,000	
	H112	45,000	24,000	22	70	27,000	
	H311	47,000	33,000	18	75	27,000	24,000
	H321	51,000	37,000	16	90	30,000	23,000
	H323	51,000	38,000	10	90	30,000	
	H343	56,000	43,000	8	94	33,000	

1 ksi = 6.89 MPa.

رسوبات Mg_2Si در امتداد باند لغزش تشکیل خواهند شد همچنین اگر این آلیاژها در معرض دمای بالا در شرایط آنیل قرار بگیرند رسوبات در امتداد مرزدانه تشکیل خواهد شد.این رسوبات آلیاژها را مستعد به خوردگی بین دانه ای و خوردگی توأم با تنش در محیط خورنده خواهد نمود.به همین دلیل تمپر H3XX برای حذف یا Min نمودن این ناپایداری انجام شده بطوریکه استحکام بالاتر این آلیاژ می تواند حاصل شود.

آلیاژهای آلومینیوم –مس- منیزیم :

آلیاژ Al –Cu-Mg اولین آلیاژ رسوب سختی پذیر است اولین آلیاژ رسوب سختی بهسازی شده آلیاژ ۲۰۱۷ است که دارای 4% Cu ، 0.6%Mg و 0.7%Mn می باشد آلیاژ ۲۰۱۴ با 4.4%Cu, 0.5%Mg , 0.8%Mn و 0.8%Si واکنش بیشتری به پیری مصنوعی داشته و یکی از پراستفاده ترین آلیاژ Al-Cu-Mg می باشد .آلیاژ ۲۰۲۴ با 4.5%Cu , 1.5%Mg و 0.6%Mn اساسا به عنوان یک آلیاژ مورد استفاده در هواپیما و با یک استحکام بالاتر در پیری مصنوعی نسبت به آلیاژ ۲۰۱۷ می باشد .افزایش استحکام با افزایش مقدار Mg از ۰,۵ تا 1.5% بدست می آید .

افزودن Mg به آلیاژ های Al-Cu رسوب سختی در آلیاژ Al-Cu را شتاب می دهد .

مراحل رسوب عمومی برای آلیاژ Al-Cu-Mg به شرح زیر است :

$S''(Al_2CuMg) \rightarrow S(Al_2CuMg)$ – نواحی GP – محلول جامد فوق اشباع نواحی GP در مراحل اولیه ی پیری در دماهای کم تشکیل می شوند اما شکل و اندازه آن مشخص نشده است .نواحی از تجمعی از اتم های مس و Mg روی صفحات Al (۱۱۰) تشکیل شده است .

شتاب فرآیند پیری طبیعی در آلیاژهای Al-Cu با افزودن Mg می تواند به لحاظ افزایش سرعت دیفوزیون اتم های بزرگتر Mg ، که سرعت دیفوزیون اتم های مس با اندازه کوچکتر را جبران می نمایند باشد .اتم های Mg همچنین تنش های همراه با اتمهای Cu را آزاد می نمایند ، اثر کلی اتم های Mg بنابراین شتاب در رشد نواحی می باشد .

مکانیزم رسوب S از آنجا تقویت شد که فاز نیمه پایدار S کوهیرنت بوده و می تواند با میکروسکوپ الکترونی آشکار گردد . S بطور هتروژن در نابجایی ها جوانه زده و بصورت ورقه ای روی صفحات آلومینیوم (۲۱۰) در جهت < 001 > رشد می کند.

رسوب S بوسیله عملیات حرارتی محلولی ورق آلیاژ ۲۰۲۴ در ℃493℃کوانچ در آب تا دمای اتاق و پیری به مدت ۱۲ ساعت در ℃190℃تشکیل می شود.

از آنجاییکه فاز S بطور هتروژن جوانه می زند افزایش تعداد نابجایی ها به وسیله کارسرد موجب افزایش دانسیته ورقه های S خواهد شد.با انجام ۱,۵ درصد کارسرد بعد از عملیات حرارتی محلولی و قبل از پیری در ۱۹۰ دانسیته رسوب S در این نمونه ها افزایش یافته است .افزایش کارسرد بین عملیات حرارتی محلولی و پیری در ℃190℃رسوبات S را تصفیه نموده و دانسیته را افزایش می دهد .

خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Cu-Mg کار شده در جدول ۱۰-۱ لیست شده است .

استحکام کششی آلیاژ ۲۰۱۴ از 27KSi در شرایط آنیل به 70KSi در تمپر T6 تغییر می کند . آلیاژ ۲۰۲۴ می تواند تا 75KSi پیر سخت شود اگر مقداری کرنش سختی بین عملیات حرارتی محلولی و پیری انجام گیرد.

خواص آلیاژهای Al-Cu-Mg عملیات حرارتی شده کارشده به مقدار زیادی تحت تأثیر دمای عملیات حرارتی محلولی می باشد.همانطوریکه در خواص کششی آلیاژ رسوب سختی شده ۲۰۱۴ در تمپر T4 و T6 در شکل ۱۰-۱ دیده می شود .اگر دمای عملیات محلولی بحد کافی پایین باشد. فازهای سخت کننده بطور کامل قبل از کوانچ حل نشده و بنابراین استحکام کششی کمتری حاصل می شود . به لحاظ آنکه دانسیته رسوب کمتر است.اگر دمای عملیات حرارتی محلولی به حد کافی بالا باشد ذوب بعضی از فازها با دمای ذوب کمتر رخ خواهد داد .که نتیجه آن کاهش در استحکام و داکتیلیته خواهد شد. برای

آلیاژهای Al-Cu-Mg ، عملیات حرارتی تجاری نرمال ، عملیات حرارتی محلولی حدود 5°C کمتر از کمترین نقطه ذوب یوتکتیک می باشد.

جدول (۱۰ - ۱): خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم - مس - منیزیم عملیات حرارتی‌پذیر کار شده

Alloy	Temper	Tensile strength, psi	Tensile yield strength,* psi	Elon-gation, % in 2 in	Hard-ness,† Bhn	Shear strength, psi	Fatigue limit,‡ psi
2014	O	27,000	14,000	18	45	18,000	13,000
	T4, T451	62,000	42,000	20	105	38,000	20,000
	T6, T651	70,000	60,000	13	135	42,000	18,000
2017	O	26,000	10,000	22	45	18,000	13,000
	T4, T451	62,000	40,000	22	105	38,000	18,000
2024	O	27,000	11,000	20	47	18,000	13,000
	T3	70,000	50,000	18	120	41,000	20,000
	T36	72,000	57,000	13	130	42,000	18,000
	T4, T351	68,000	47,000	20	120	41,000	20,000
	T6	69,000	57,000	10	125	41,000	18,000
	T81, T851	70,000	65,000	6	128	43,000	18,000
	T86	75,000	71,000	6	135	45,000	18,000
2117	T4	43,000	24,000	27	70	28,000	14,000

1 ksi = 6.89 MPa.
* Yield strength, 0.2 percent offset.
† 500-kg load, 100-mm ball.

اثر پیری در محدوده ی دمایی 120 – 205°C بر خواص کششی آلیاژ ۲۰۱۴ کوانچ و عملیات حرارتی محلولی شده در شکل۱۰-۱ نشان دار شده است.در هر دمایی رسوب سختی خیلی سریع بوده و در دمای بیشتر از 120°C overaging به سرعت رخ می دهد. اپتیمم دما و زمان در عمل پیری در صنعت ۸ تا ۱۲ ساعت در 170°C می باشد.آلیاژ۲۰۲۴ واکنش ویژه ای نسبت به کار سرد بعد از عملیات حرارتی دارد. اثر کارسرد بین کوانچ و پیری روی خواص کششی آلیاژ ۲۰۲۴ در شکل ۱۱-۱ نشان دار شده است . آلیاژ 2024-T6 دارای استحکام کششی 57KSi است اما با 6% کاسرد بین کوانچ و پیری تنش تسلیم به 71KSi افزایش می یابد.

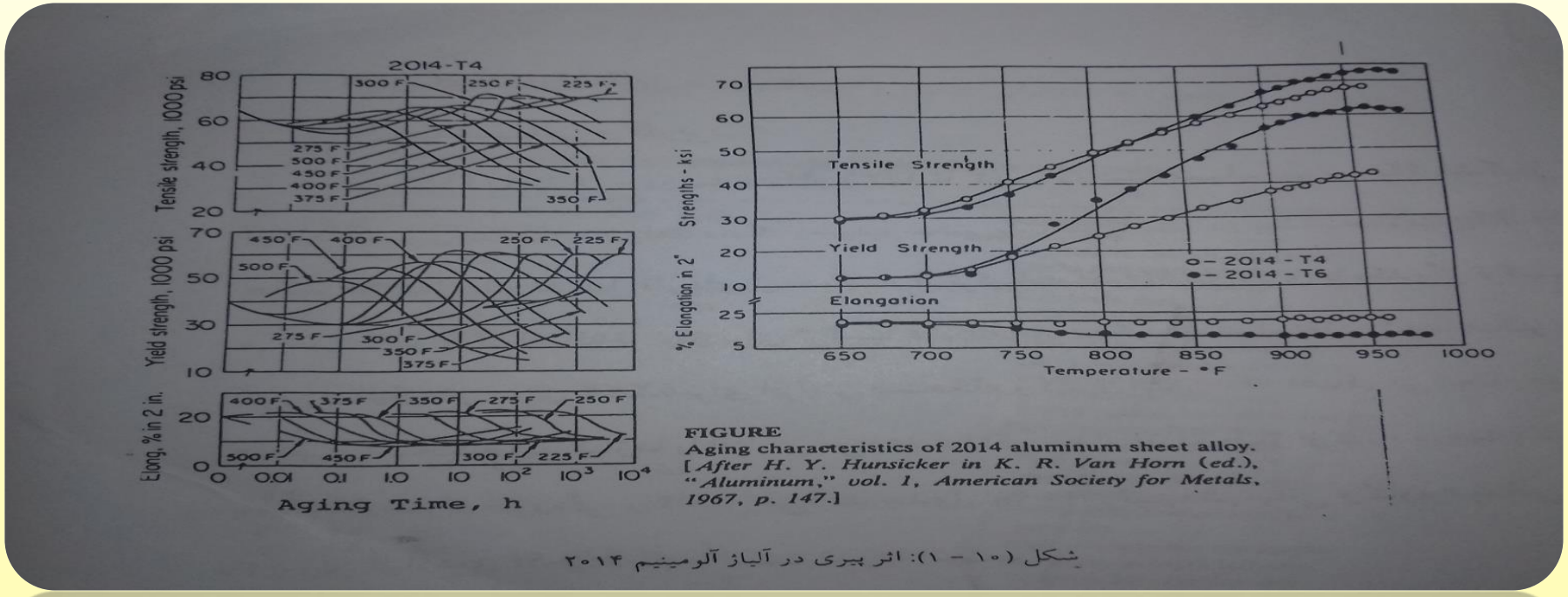


FIGURE
Aging characteristics of 2014 aluminum sheet alloy.
[After H. Y. Hunsicker in K. R. Van Horn (ed.), "Aluminum," vol. 1, American Society for Metals, 1967, p. 147.]

شکل (۱۰ – ۱): اثر پیری در آلیاژ آلومینیم ۲۰۱۴

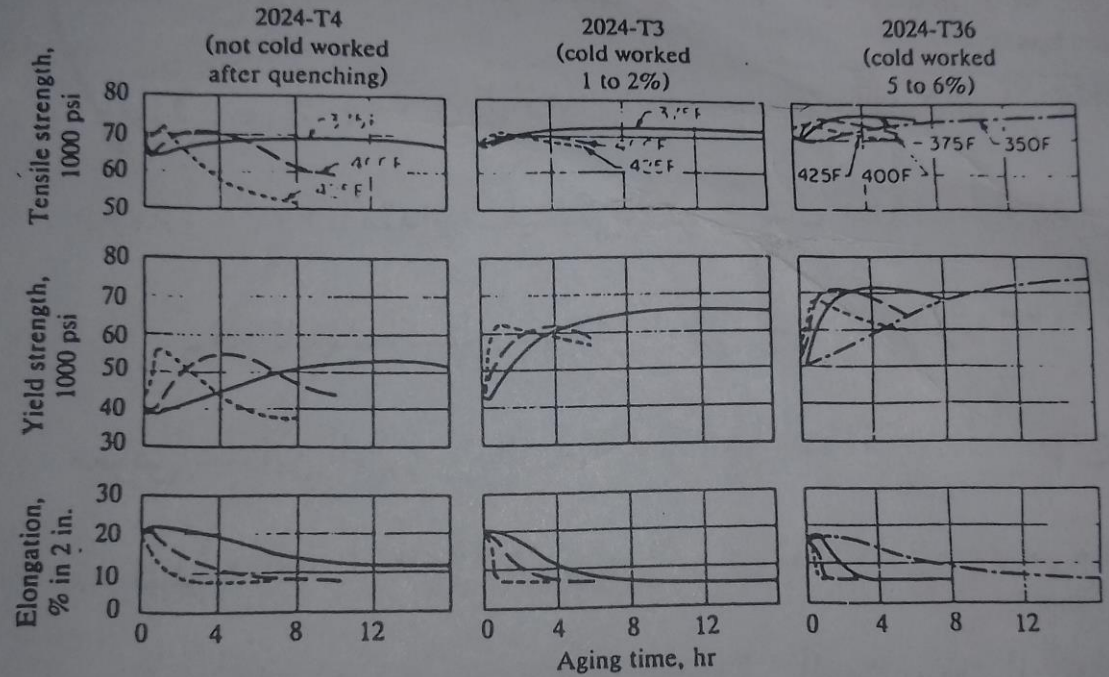


FIGURE
Elevated-temperature aging characteristics of 2024 alloy sheet. [*After H. Y. Hunsicker in K. R. Van Horn (ed.), "Aluminum," vol. 1, American Society for Metals, 1967, p. 149.*]

شکل (۱۱ - ۱): اثر پیری در آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴

آلیاژهای Al-Mg-Si :

ترکیب شیمیایی و کاربرد :

افزودن (۱,۲ تا ۰,۶ درصد) Mg ، (۱,۳ تا ۰,۴ درصد) Si به Al تشکیل آلیاژهای سری 6XXX را خواهد داد که رسوب سختی پذیر می باشند.در بیشتر حالات Mg ,Si حاضر در آلیاژ برای تشکیل فازهای نیمه پایدار از ترکیبات Mg_2Si بین فلزی با یکدیگر ترکیب می شوند .اما از Si اضافه برای ترکیب Mg_2Si نیز ممکن است استفاده شود. منگنز و کروم و آلیاژهای سری 6XXX برای افزایش استحکام و کنترل اندازه دانه اضافه می شوند .مس همچنین استحکام این آلیاژها را افزایش می دهد اما اگر مقدار آن در آلیاژ از 0.5% بیشتر باشد مقاومت به خوردگی را کاهش می دهد .جدول ۱-۱۱ ترکیب شیمیایی و کاربرد بعضی از مهمترین آلیاژهای Al-Mg-Si را لیست نموده است .

اولین آلیاژ آلومینیم با مقدار Mg_2Si بالانس شده ۶۰۵۳ بود . که شامل $2\%Mg_2Si$ و $0.25\%Cr$ است این آلیاژ سپس بوسیله ۶۰۶۱ جایگزین گردید که شامل $1.5\%\ Mg_2Si$ و $0.25\%\ Cr$ و $0.27\%Cu$ می باشد . آلیاژ۶۰۶۱ یک آلیاژ برای مقاصد عمومی با استحکام میانی و یکی از مهمترین آلیاژهای آلومینیم است.آلیاژهای Al-Mg-Si با استحکام بالاتر مثل ۶۰۶۶ و ۶۰۷۰ با مقدار سیلیسیم بالاتر در سال ۱۹۶۰ معرفی شدند .

برای قابلیت اکسترود بیشتر آلیاژ با استحکام کمتر ۶۰۶۳ با حدود $1\%Mg_2Si$ معرفی شد این آلیاژ می تواند در مدت عملیات اکستروژن کوانچ شده و از عملیات محلولی صرف نظر شود .آلیاژ ۶۴۶۳ دارای ویژگی های تمام کاری بهتر می باشد ، در آلیاژ ۶۴۶۳، حد آهن به حدی کم نگه داشته می شود که درخشندگی آلومینیم بعد از آندایزینگ اصلاح می شود .

جدول (۱۱ - ۱): ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای آلومینیم - منیزیم - سیلیسیم

TABLE
Chemical compositions and applications of aluminum-magnesium-silicon alloys*

Alloy	% Mg	% Si	% Mn	% Cr	% Cu	% Other	Applications
6003	1.2	0.7					Cladding for sheets and plates
6005	0.5	0.8					Trucks and marine structures; railroad cars; furniture
6009	0.6	0.8	0.5		0.38		Auto body sheet
6010	0.8	1.0	0.5		0.38		Auto body sheet
6053	1.3	0.7		0.25			Wire and rods for rivets
6061	1.0	0.6		0.2	0.27		Heavy-duty structures where corrosion resistance is needed; truck and marine structures; railroad cars; furniture; bridge railing; hydraulic tubing
6063	0.7	0.4					Pipe; railings; furniture; architectural extrusions; truck flooring
6066	1.1	1.3	0.8		0.9		Forging and extrusions for welded structures
6070	0.8	1.4	0.7		0.3		Heavy-duty welded structures; pipelines
6101	0.6	0.5					High-strength bus conductors
6151	0.6	0.9		0.25			Moderate-strength intricate forgings for machine and auto parts
6162	0.9	0.6					Structures requiring moderate strength; busbars
6201	0.8	0.7					Electrical conductor wire (high strength)
6253	1.2	0.7		0.25		2.0 Zn	Component of clad rod and wire
6262	1.0	0.6		0.09	0.27	0.55 Pb; 0.55 Bi	Screw-machine products (better corrosion resistance than 2011)
6463	0.7	0.4				Low iron (0.15 max)	Architectural and trim extrusions

* After "ASM Databook," published in *Met. Prog.*, vol. 116, no. 1, mid-June 1979.

ساختمان :

رسوب سختی در سیستم Al-Mg-Si به وسیله کاهش حلالیت جامد ترکیب بین فلزی Mg_2Si با کاهش دما ممکن می گردد . شکل ۱۲-۱ مقطع دوتایی قائم از سیستم سه تایی Al-Mg-Si در ترکیب Mg_2Si را نشان می دهد . همانگونه که در شکل دیده می شود یک یوتکتیک شبه دوتایی بین محلول جامد آلومینیوم و Mg_2Si تشکیل می شود .

حلالیت Mg_2Si در آلومینیوم از ۱/ ۸۵ درصد در دمای یوتکتیک به حدود 0.1% در دمای اتاق کاهش می یابد .آلیاژهای شامل حدود 0.6% یا بیشتر Mg_2Si رسوب سختی اگر یک آلیاژ شامل Mg_2Si 103wt% در آب کوانچ و در 160°C پیر شود . نواحی GP تشکیل شده که سوزنی شکل بوده و در جهت < 001 > زمینه آرایش یافته اند . وقتی به استحکام ماکزیمم در مدت پیری در 160°C برای ۲۴ ساعت می رسیم یک دانسیته بالا از رسوب β' با مقداری سوزنهای کوتاه تشکیل می شود .گرم کردن مجدد آلیاژ Al-Mg-Si که بطور کامل سخت شده است به مدت ۱۵ دقیقه در 257°C موجب درشت شدن سوزنهای β' می شود.

تسلسل رسوبات در سیستم Al-Mg-Si بنابراین بصورت

محلول جامد فوق اشباع -- GP نواحی -- β' $(Mg_2Si) \Rightarrow \beta$ (Mg_2Si)

ارائه شده است.

از آنجا که کرنشهای کوهیرنتی در مراحل انتقالی β یا نواحی GP از رسوب مشاهده نمی شود. پیشنهاد شده است که افزایش استحکام آلیاژ Al-Mg-Si به لحاظ افزایش انرژی مورد نیاز برای شکستن پیوندهای Mg-Si هنگام عبور نابجایی از رسوبات می باشد.

خواص مکانیکی:

خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Mg-Si عملیات حرارتی پذیر شده در جدول ۱۲-۱ لیست شده است.این آلیاژها دارای استحکام میانی (۴۵ تا 57KSi در تمپر T6 می باشند) از آنجا که مقادیر نسبتاً کمی از Mg_2Si (۱تا۲ %) می تواند برای رسوب سختی در این آلیاژها ،آلیاژ شود.آلیاژها با بالاترین استحکام در این کلاس ۶۰۶۶ و ۶۰۷۰ هستند .که دارای Si اضافی بالاتر از مقداری که برای تهیه حدود ۱ تا ۲ درصد Mg_2Si لازم است ، می باشند.

آلیاژ ۶۰۶۱ دارای یک استحکام کششی 45KSi در تمپر T6 بوده و شامل 106wt% Mg_2Si است.با کاهش مقدار Mg_2Si به 101%wt استحکام آلیاژ ۶۰۶۳ به 35KSi در تمپر T6 کاهش می یابد . استحکام کمتر آلیاژ ۶۰۶۳ لازم برای هر میزان اکسترود می باشد .

آلیاژهای Al-Mg-Si معمولاً در حدود 520°C عملیات حرارتی محلولی می شوند از آنجا که این دما زیر دمای ذوب یوتکتیک برای این آلیاژها می باشد احتمال کمی وجود دارد که این آلیاژها در فوق گداز ذوب شوند.

آلیاژ ۶۰۶۱ می تواند در دماهای بالاتر از 520°C عملیات حرارتی محلولی شود و مقداری افزایش در استحکام

بدست می آید از آنجا که همه Mg_2Si حاضر در این دما حل می شود همانند آلیاژهای Al-Cu-Mg سرد کردن سریع برای بدست آوردن ماکزیمم استحکام لازم است.

ویژگی های پیری مصنوعی آلیاژ۶۰۶۱ در شکل ۱۳-۱ نشان داده است. باید توجه نمود که بالاترین استحکام در دماهای کمتر برای زمان های طولانی تر (130°C برای ۵۰۰ ساعت) بدست خواهد آمد.در صنعت برای مقاصد اقتصادی این آلیاژ ۱۶ تا ۲۰ ساعت در 160°C پیر می شود .بالاترین استحکام در آلیاژهای Al-Mg-Si زمانی بدست خواهد آمد که پیری مصنوعی بلافاصله بعد از کوانچ شروع شود .اتلاف ۳ تا 4KSi در استحکام رخ خواهد داد .

اگر این آلیاژ در دمای اتاق برای ۱ تا ۷ روز پیر شوند اگرچه مقدار بازیابی استحکام با پیری به مدت یک ماه یا بیشتر در دمای اتاق وجود دارد.

جدول (۱۲ - ۱): خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم - منیزیم - سیلیسیم عملیات حرارتی‌پذیر کار شده

Alloy	Temper	Tensile strength, psi	Tensile yield strength,* psi	Elon-gation, % in 2 in	Hard-ness, Bhn†	Shear strength, psi	Fatigue limit psi‡
6053	O	16,000	8,000	35	26	11,000	8,000
	T6	37,000	32,000	13	80	23,000	13,000
6061	O	18,000	8,000	25	30	12,000	9,000
	T4, T451	35,000	21,000	22	65	24,000	13,000
	T6, T651	45,000	40,000	12	95	30,000	14,000
	T81	55,000	52,000	15	..	32,000	
	T91	59,000	57,000	12	..	33,000	14,000
	T913	67,000	66,000	10	..	35,000	
6066	O	22,000	12,000	18	43	14,000	
	T4, T451	52,000	30,000	18	90	29,000	
	T6, T651	57,000	52,000	12	120	34,000	16,000
6070	O	21,000	10,000	20	35	14,000	9,000
	T6	57,000	52,000	12	120	34,000	14,000
6101	T6	32,000	28,000	15	71	20,000	. . .
6151	T6	48,000	43,000	17	100	32,000	12,000
6201	T81	48,000	. . .	6	..	. . .	15,000
6262	T9	58,000	55,000	10	120	35,000	13,000
6351	T4, T451	42,000	27,000	20	60	22,000	13,000
	T6, T651	49,000	43,000	13	95	29,000	13,000
6951	O	16,000	6,000	30	28	11,000	
	T6	39,000	33,000	13	82	26,000	

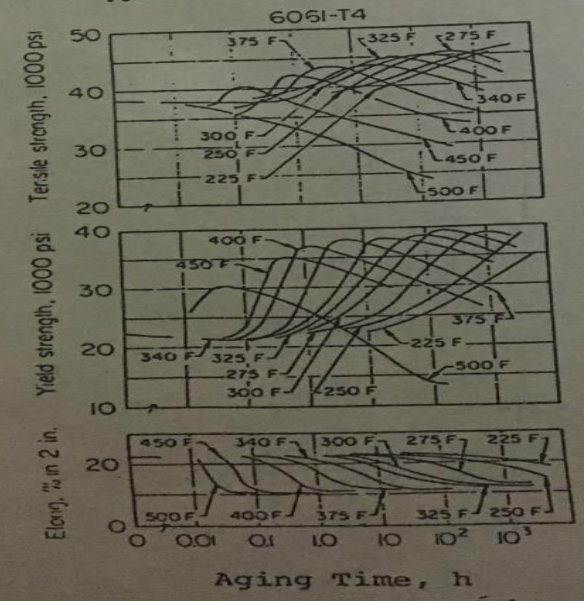


FIGURE
Aging characteristics of 6061 aluminum sheet alloy. [*After H. Y. Hunsicker in K. R. Van Horn (ed.), "Aluminum," vol. 1, American Society for Metals, 1967, p. 147.*]

شکل (۱۳ - ۱): اثر پیری بر ورق آلومینیم ۶۰۶۱

جلسه سوم

مقاومت به خوردگی:
الیاژهای AL-Mg-Siدارای مقاومت به خوردگی عالی درهمه محیطهای اتمسفری طبیغی وبعضی محیطهای مصنوعی هستندمقاومت به خوردگی این الیاژها درموادی که به سرعت کوانچ وبه طورمصنوعی پیرمیشوندبالاتراست.

الیاژهای الومینیم-روی-منیزیم والومینیم-روی-منیزیم-مس:

ترکیب شیمیایی وانواع کاربرد:
افزودن ۴تا۸درصد وزنی روی و۱تا۳درصد وزنی منیزیم به الومینیم سریXXX7
الیاژهای الومینیم عملیات حرارتی پذیر کارشده راتشکیل میدهد بعضی ازاین الیاژها بالاترین استحکام رادربین الیاژهای الومینیم تجاری دارند روی ومنیزیم هردودارای حلالیت جامد بالادرالومینیم بوده و ویژگی رسوب سختی بالا دارند. افزودن۱تا۲ درصد وزنی مس استحکام الیاژAL-Zn-Mgراافزایش داده والیاژهای الومینیم بااستحکام بالا موردنیاز درهواپیمارااایجاد میکند.
پس ازتحقیقات بسیار الیاژ۷۰۷۵ معرفی گردیدکه مهمترین عنصرگروه بوده وازاثرسود بخش کروم که اصلاح کننده مقاومت به خوردگی توام باتنشSccمیباشد برخوردار است.
الیاژ۷۰۷۵ شامل 0/30%Cr-1/6%Cu-2/5%Mg-۵/۶%Zn است.
-الیاژبهسازی شده۷۰۷۵بااستحکام بالاترالیاژ۷۱۷۸است که شامل حدبالاتری از روی و منیزیم ومس میباشد.الیاژبابالاترین استحکام ۷۰۵۱میباشدکه شامل۷/۴%Zn-3/0%Mg

وCu ۲/۱% است.

ساختمان:
الیاژهایAL-Zn-Mgکارشده بوسلیه واکنشهای رسوبی به هنگام پیری بعداز عملیات حرارتی وکوانچ مستحکم میشوند.تسلسل رسوبات به هنگام پیری محلول جامدعموما به صورت زیرمیباشد:

محلول جامدفوق اشباع --Gp نواحی -- ή)$MgZn_2$) ⟹ η ($MgZn_2$)

نواحی Gp بازمینه کوهیرنت بوده و دارای شکل کروی میباشند. انرژی فصل مشترک برای نواحیGpدرسیستمAL-Zn-Mgبحدی کم است که یک دانسیته بالاازنواحی بااندازه خیلی کوچک(30Å~)دردمای کم (۲۰تا۱۲۰درجه سانتیگراد) بوجودمی اید.
فازنیمه پایدارمیانی نیمه کوهیرنت ήباسل واحدمونوکلینیک بوده درحالیکه فاز تعادلی غیرکوهیرنت ($MgZn_2$) هگزاگونال می باشد.

بالاترین استحکام برای الیاژAL-5%Zn-2%Mgبادانسیته بالایی ازنواحی Gpکوچک همراه می باشد.که باعملیات پیرشدن دومرحله ای بدست می اید که بوسیله اولین مرحله پیری بمدت ۵روزدر۲۰درجه سانتیگراد وسپس برای۴۸

ساعت دردمای بالاتراز۱۲۰درجه سانتیگراد حاصل میشود.ساختمان زمینه ای که بااین عملیات تشکیل میشودحاوی دانسیته بالاازنواحی GPکوچک بوده ومدرکی دال بر وجودرسوبات فازمیانی نیمه کوهیرنت وجودندارد.اولین مرحله ازپیری دومرحله ای یک دانسیته بالاازنواحی GPپایدار کوچک راموجب میگردد.پیری دردمای بالاترازمرحله دوم مقداری ازنواحی کوچک راحل نموده امابسیاری دیگردرحضور مناطق کوچکتررشدمی نمایند.دراین روش یک دانسیته بالاازنواحی GPنسبتاکوچک دردمای بالاترتشکیل می شود.

الیاژهایAL-Zn-Mg-Cu

افزودن حدود۲درصدمس به الیاژهای AL-Zn-Mgمکانیزم رسوب سختی راتغییرنمیدهد. درمدت تشکیل نواحی مس درالیاژهای AL-Zn-Mg-Cuیکنواخت توزیع می گردد.مس علاوه برافزایش پایداری نواحی GPموجب ابقاانها دردماهای بالاترنسبت به الیاژهای AL-Zn-Mgمیگردد.

مس الیاژهای AL-Zn-Mgراابتداباتشکیل محلول جامدمستحکم نموده وهمچنین در استحکام رسوبی سهیم میشود.درشرایط کاملاپیرسخت۶۵۱ TنواحیGP(V5A)با مقداری ή ۱۵۰Å)میباشد. رسوبات درشت تیره رنگ غنی ازکروم دربسیاری ازالیاژهای AL-Zn-Mg-Cuیافت میشود.بعدازoveragingدر۱۷۰درجه سانتیگراد به مدت۹ساعت

تمپرT۷۳۵۱)ریزساختاازɳ(۱۰۰تا۳۰۰انگستروم) ɳ(۴۰۰تا۸۰۰انگستروم)تشکیل می شود.درالیاژهایAL-Zn-Mgوoveraging ودرشت شوندگی رسوبات باعث کاهش استحکام میشود.
برای مثال
T۶۵۱-۷۰۷۵ دارای استحکام کششی نهایی ۷۶/۷ KSIواستحکام تسلیم ۶۶/۴ است.درحالیکه7075-T7351بارسوبات ɳ+ɳ'دارای استحکام کششی نهایی ۶۳/۷ KSIواستحکام تسلیم۵۴/۳است.

خواص مکانیکی:

خواص مکانیکی الیاژهای AL-Zn-Mg-Cu وAL-Zn-Mgعملیات حرارتی پذیرکارشده درجدول۱۳-۱لیست شده است.بالاترین استحکام دمای اتاق الیاژهایAlمربوط به الیاژهایAL-Zn-Mg-Cuمی باشد.
الیاژ۷۰۰۱با۴/۷Zn% , ۳/۰ Mg% , ۱/۲ CU%دارای یک استحکام کششی نهایی ۹۸KSI باازدیادطول نسبی۹درصد درعملیات حرارتی باتمپر T651می باشد.که یکی ازبالاترین استحکامها درالیاژهای سریXXX7می باشد.
الیاژ۷۰۷۵که ازمتداول ترین الیاژدرسری های XXX7میباشددارای مس,منیزیم و روی

کمترمی باشدو دارای استحکام کششی نهایی 83Ksi باازدیاد طول نسبی ۱۱درصد در عملیات حرارتی باتمپرT651است.
این استحکام بالابه دانسیته بالاازنواحی GPورسوبات ή موجوددراین الیاژهاباعملیات پیری دوتایی نسبت داده میشود.

جدول (۱۳ – ۱): خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Zn-Mg – Al-Zn-Mg-Cu عملیات حرارتی‌پذیر کار شده

Alloy	Temper	Tensile strength, psi	Tensile yield strength,* psi	Elon-gation, % in 2 in	Hard-ness,† Bhn	Shear strength, psi	Fatigue limit,‡ psi
7001	O	37,000	22,000	14	60		
	T6	98,000	91,000	9	160	. .	22,000
	T651	98,000	91,000	9	160	. . .	22,000
	T75	84,000	72,000	12			
7005	O	28,000	12,000	20			
	W	50,000	30,000	20			
	T6	51,000	42,000	13	. . .	31,000	22,000
7075	O	33,000	15,000	17	60	22,000	17,000
	T6	83,000	73,000	11	150	48,000	23,000
	T651	83,000	73,000	11	150	48,000	23,000
	T73	73,000	63,000	13			
7178	O	33,000	15,000	15	60	22,000	
	T6	88,000	78,000	10	160	52,000	22,000
	T651	88,000	78,000	10	160	52,000	22,000

1 ksi = 6.89 MPa.
* Yield strength, 0.2 percent offset.
† 500-kg load, 10 – mm ball.
‡ Based on 500 million cycles using an R. R. Moore type of rotating-beam machine.

درمقایسه باالیاژهایAL-Cu-Mg,کارسردالیاژهای AL-Zn-Mgو AL-Zn-Mg-Cu در فاصله کوانچ وپیری موجب استحکام قابل نوجهی نمیگردد.الیاژهای سریxxx7واکنش مطلوبی نسبت به عملیات کارسرد بین کوانچ وپیری ندارد,بدان جهت که انها انحصارا با تشکیل نواحی ورسوباتی که ازنواحی جوانه می زند سخت می گردند.
بنابراین نابجائیهای جدیدحاصل ازکارسرد بعدازعملیات حرارتی محلولی وکوانچینگ تشکیل رسوب فازنیمه پایدارمیانی درالیاژهای AL-Cu- Mgراشتاب نمی دهد.

الیاژهای ریختگی الومینیوم:

ترکیب شیمیائی وکاربردها

الیاژهای ریختگی الومینیم می بایستی دارای قابلیت سیلان,تغذیه مذاب(feeding) همچنین استحکام,داکتیلیته ومقاومت به خوردگی باشند.ترکیب شیمیائی انهابطور گسترده ارالیاژهای الومینیم کارشده متفاوت است.جدول۱۴-۱ترکیب شیمیائی وکاربرد انواع الومینیم-درقالبهای دائمی-ماسه ای وتحت فشارراليست نموده است.همانگونه که درجدول۲-۱ لیست شده است عناصر الیاژی اصلی برای الیاژهای ریختگی الومینیم عبارتنداز:

2xx	copper
3xx	Silicon with copper and /or magnesium
4xx	Silicon
5xx	magnesium
7xx	Zinc
8xx	Tin

الیاژهای ریختگی الومینیم- سیلسیم:

الیاژهای ریختگیAlبا Si بعنوان عنصر الیاژی اصلی بهترین الیاژریختگی تجاری بعلت ویژگی ریختگی عالی میباشد الیاژهای AL-Si در مقایسه دارای سیالیت بالا درحالت مذاب, خالص feedingعالی درمدت انجماد واز hot shortnessازادمیباشد.Siمقاومت به خوردگی الومینیم راکاهش نمیدهد ودربعضی حالات مقاومت به خوردگی رادرمحیط های اسیدی افزایش میدهد.

الیاژهای دوتاییAL-Siعملیات حرارتی پذیرنیستند ازانجائیکه فقط یک مقدارکم ازSiدر الومینیم حل شده(ماکزیمم۱/۶۵درصد)ومجددا ازمحلول جامدرسوب می نماید باعث سخت شوندگی خیلی کم خواهد شد.سیستمAL-Siیک نوع یوتکتیک ساده باترکیب یوتکتیک درSi % ۱۲/۶

میباشد.(شکل۱۴-۱)مهمترین الیاژهای AL-Siدوتایی تجاری ۴۴۳هستندکه شامل5/3%Si و۴۱۳ که شامل۱۲%Siاست میباشند.الیاژ۴۴۳اساسا برای ریختگی درقالبهای دائمی و ماسه ای بکارمیرود.درحالیکه الیاژ۴۱۳عمومابرای قالبهای تحت فشار استفاده می شود.

جدول (۱۴ - ۱): ترکیب شیمیایی و کاربرد آلیاژهای ریختگی آلومینیم

Sand- and permanent-mold-casting alloys

Aluminum-copper casting alloys

Alloy designation†	% Cu	% Si	% Mg	% other	Typical applications
208	4.0	3.0			General-purpose sand castings; manifold and valve bodies
213	7.0	2.0			Washing machine agitators; automotive cylinder heads and timing gears
222	10.0	—	0.25		Primarily a piston alloy; also used for air-cooled cylinder heads
242	4.0	—		2 Ni	Air-cooled cylinder heads; pistons in high-performance gasoline engines
295	4.5	1.1			General structural castings requiring high strength and shock resistance
B295	4.5	2.5			Permanent-mold version of 295; aircraft fittings; fuel-pump bodies

Aluminum-silicon-copper alloys

	% Si	% Cu	% Mg	
308	5.5	4.5		General-purpose permanent mold castings and ornamental grilles
319	6.3	3.5		General-purpose alloy; engine parts; automotive cylinder heads
333	9.0	3.5	0.25	General-purpose alloy used for engine parts, meter housings, aircraft, missile, and other applications requiring high-strength castings
354	9.0	1.8	0.5	

Aluminum-silicon-magnesium alloys

	% Si	% Cu	% Mg	% other	
F332	9.5	3.0	1.0		Automotive pistons; parts requiring elevated-temperature strength
355	5.0	1.2	0.5		General use where high strength and pressure tightness are required such as pump bodies and liquid-cooled cylinder heads; crankcases, accessory housings, and aircraft fixtures; stressed castings such as blower housings, snow removal equipment, and scaffold pedestals
C355	5.0	1.2	0.5	0.20 max Fe	Similar to 355, but stronger and more ductile; aircraft, missile, and other structural uses requiring high strength; parts requiring high strength-to-weight ratios, such as crankcases and wheels in aerospace applications

Alloy	%Si	%Mg		
356	7.0	0.3		Intricate castings requiring good strength and ductility; transmission cases, truck axle housings, truck wheels, cylinder blocks, railway tank car fittings, marine hardware, valve bodies, and bridge railing parts; outboard motor parts, cylinder heads, fan blades, pneumatic tools, storage tank fittings, gray anodized architectural components
A356	7.0	0.3	0.20 max Fe	Similar to 356, but stronger and more ductile; aircraft and missile components requiring strength, ductility, and corrosion resistance
357	7.0	0.5		Highly stressed castings requiring a high strength-to-weight ratio and excellent corrosion resistance; aircraft and missile components, machine parts, high-velocity fan blades
A357	7.0	0.5	0.05 Be	Aircraft and missile parts
359	9.0	0.6		High-strength aircraft, missile, and other structural applications

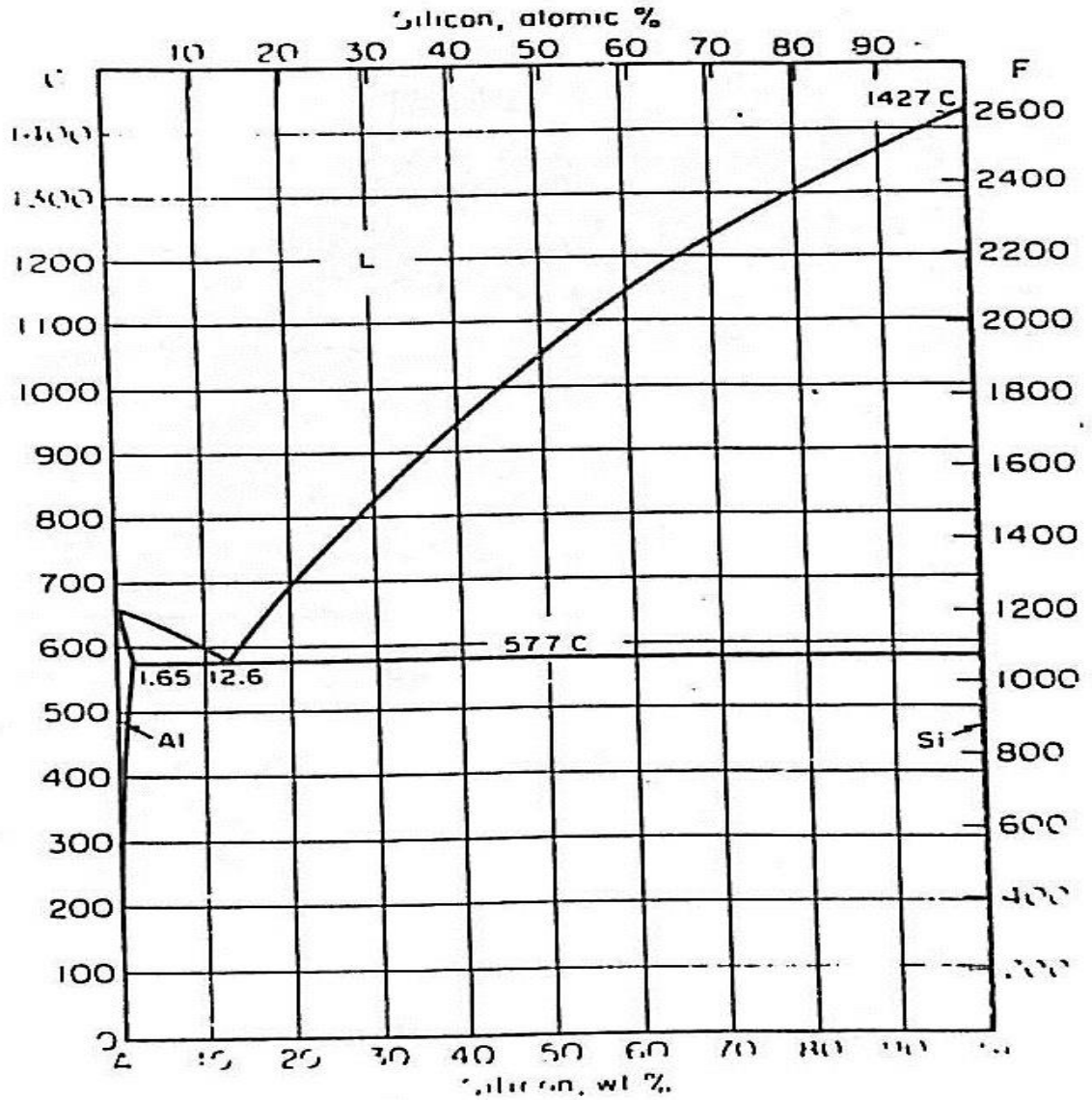
Aluminum-copper-magnesium-nickel alloys

	% Si	% Cu	% Mg	% Ni	
A332	12	1.0	1.0	2.5	Automotive pistons; diesel engine pistons; pulley sheaves and engine parts operating at elevated temperatures

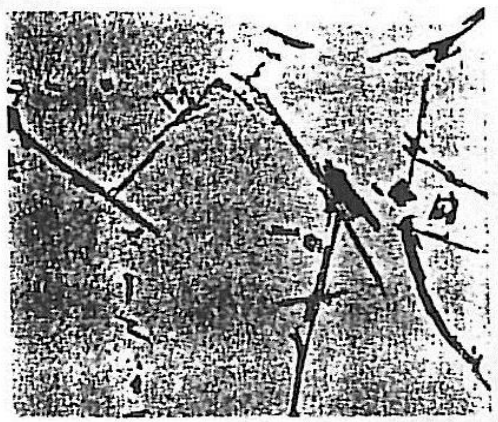
Die-casting alloys‡

Alloy	% Si	% Fe§	% Mg	% Cu	Typical applications
413	12.0	2.0			Large, intricate castings with thin sections—instrument cases, typewriter frames
A413	12.0	1.3			
C443	5.3	2.0			Castings requiring high resistance to corrosion and shock
360	9.5	2.0	0.5		General-purpose castings—instrument cases and cover plates
A360	9.5	1.3	0.5		
380	8.5	2.0		3.5	General-purpose castings
A380	8.5	1.3		3.5	
383	10.5	1.3		2.5	
384	11.3	1.3		3.8	

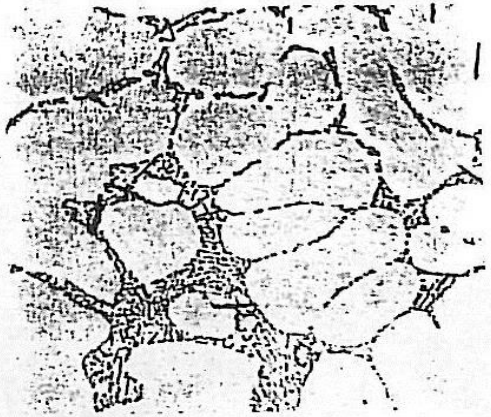
به هنگام انجمادالیاژ۴۴۳دندریتهایی ازالومینیم تقریباخالص ابتدامنجمد میشوند.فضای بین دندریتها سپس بایوتکتیکAL-Siپرمیشود وقتی یوتکتیک منجمدمیشودبه الومینیم تقریباخالص وSiتجزیه می گرددهنگامیکه سرعت انجماد افزایش می یابد سل های دندریتی کوچکترمی شونداین ارتباط درشکل۱۵-۱برای الیاژهایF 443(بعدازریختگی) منجمدشده درسرعتهای سریعترنشانداده شده است.شکلa 15-1 الیاژF-۴۴۳ ریخته شده درقالب ماسه ای رانشان میدهدکه دارای سل های دندریتی بزرگ درنتیجه سردکردن اهسته درمدت انجمادمی باشدالیاژ B443 دریک قالب دائمی سل دندریتی کوچکتری راموجب می گردد شکل 15b-1.ریختگی تحت فشارالیاژکه یک سرعت سریع ترفشاررابوجودمی اورد یک سل دندریتی کوچکتری راموجب می شود.شکل 15c-1



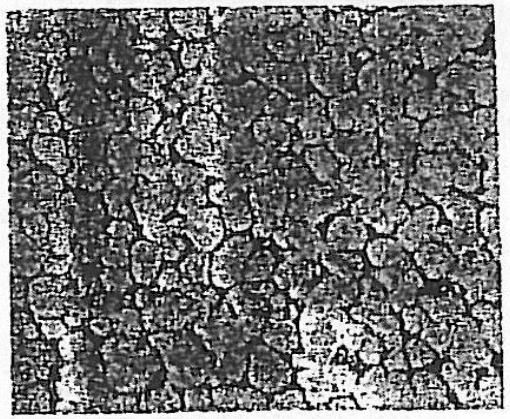
شکل (۱۴ – ۱): دیاگرام فازی آلومینیم – سیلیسیم



(a)



(b)



(c)

FIGURE
Aluminum casting alloy 443 (Al–5% Si) cast at different rates. Note the decreased dendrite cell size as the solidification rate is increased. (*a*) Alloy 443-F, as sand cast. Large dendrite cells resulted from slow cooling in sand mold. Interdendritic structure: silicon (dark gray), Fe_3SiAl_{12} (medium-gray script), and $Fe_2Si_2Al_9$ (light-gray needles). (0.5% hydrofluoric acid; 500×.) (*b*) Alloy B443-F, as permanent mold cast. Constituents are same as in Fig. 5-25*a*, but dendrite cells are smaller because of faster cooling in the metal permanent mold. (0.5% hydrofluoric acid; 500×.) (*c*) Alloy C443-F, as die cast. Same constituents as in *a*, but dendrite cells are much smaller because of the very rapid cooling of the water-cooled die-casting die. (0.5% hydrofluoric acid; 500×.) (*Courtesy of F. Krill, Kaiser Aluminum Co., and as in the Metals Handbook, 8th ed., vol. 7, American Society for Metals, 1972, p. 259.*)

شکل (۱۵ – ۱): ریز ساختار آلیاژ ریختگی آلومینیم 443 (Al-5%Si)

ساختارریختگی الیاژهای AL-Siریخته شده درماسه میتواند به مقدارزیادی توسط افزودن مقدارکمی سدیم(۰/۰۲۵%) تصفیه شودسدیم یابه صورت فلزی یابصورت نمک سدیم قبل ازریختگی اضافه می شود.سدیم بابهسازی قطعات الومینیمی ریخته شده درماسه موجب افزایش استحکام نسبی می گردد.شکل۱۶-۱.سرعت های سردکردن سریعترکه کریستالیزاسیون بافوق تبریدبالا رابوجودمی اورد میتواند همچنین منتهی به تصفیه مشابهی درساختاریوتکتیک گردد.ساختاریوتکتیکAL-Siبعدازبهسازی به فرم رشته ای نا منظم دیده می شود.

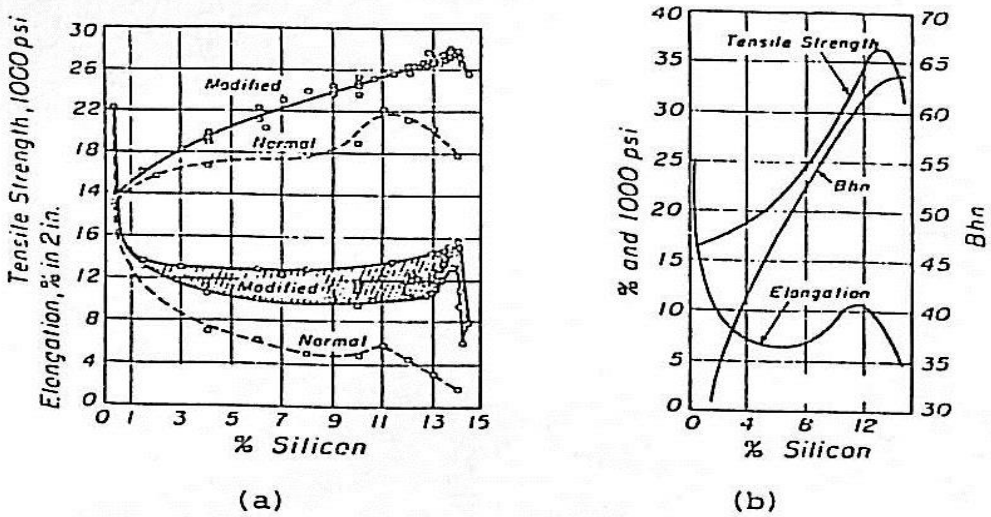


FIGURE
Tensile properties of Al-Si alloys. (*a*) Sand-cast 0.5-in-diameter test bars in as-cast condition with and without sodium modification. (*b*) Chill-cast test bars in as-cast condition. (*After Metals Handbook, 1948 edition, American Society for Metals, 1948, p. 805.*)

شکل (۱۶ - ۱): خواص کششی آلیاژهای آلومینیم - سیلیسیم

الیاژهای ریختگی AL-Si-Mg

استحکام الیاژهای دوتاییAL-Siریختگی میتواندباافزودن مقادیرکم ازمنیزیم(حدود۰/۳۵ درصد)اصلاح شود.مهمترین الیاژریختگی الومینیم ازاین نوع۳۵۶می باشد که شامل 7% Si برای قابلیت ریختگی و 0/35% Mg برای عملیات حرارتی پذیری الیاژمی باشد.
مقدار Mg_2Siالیاژ درمحدوده۰/۶ تا۰/۵ درصدبوده واستحکام رسوبی به فازنیمه پایدار Mg_2Si نسبت داده می شود.
میکرو ساختارالیاژدرشرایط ریختگی وعملیات حرارتی درشکل۱۷-۱نشان داده شده است.سرعت انجماداهسته درریختگی درماسه منتهی به ذرات سیلیسیم بین دندریتی دریوتکتیک AL-Siمی شود.پیری مصنوعی الیاژدرشرایط as-castمیکروساختارنوری راتغییر نمی دهداماتوزیع ریزی ازذرات نیمه پایداررابوجوداورده که الیاژرامستحکم مینماید.اگرالیاژ ۳۵۶بوسیله افزودن 0/015 %Naبه مذاب بهسازی شود.ساختاریوتکتیک ریخته شده در ماسه تصفیه شده وذرات سیلسیم دریوتکتیک ریزترمی گرددواین تصفیه مقدارخواص مکانیکی رااصلاح خواهدنمود اماسوداصلی دراصلاح درویژگی feedingدرهردوقالب ماسه ای ودائمی می باشد.
بعنوان یک نتیجه الیاژهای بهسازی شده با Naبه دلیل ذرات Siکوچکترفصل مشترک کمی بافلزمذاب درمدت انجمادداردلزایک تمام کاری بهتروباانقباض ریزکمتری بین دندریتها نسبت به فلزات بهسازی نشده را دارا می باشند.
شکل 17b-1ساختمان الیاژ۳۵۶ ریخته شده درماسه بعدازبهسازی رانشان میدهد.

وقتی ساختمان بهسازی شده عملیات حرارتی محلولی,کوانچ و Overaged میشود (باتمپرT7) ذرات سیلسیم اگلومره شده وذرات کروی شده بزرگتری رابوجود می اورند. دیده شده که سوزنهاوصفحات اجزاءAL-Fe-Siاستحکام الیاژهای ریختگیAL-Siراکاهش می دهند.باکاهش اهن الیاژ۳۵۶ به حدود۰/۱%درصداصلاح قابل توجهی دراستحکام این الیاژبدست خواهدامد.

الیاژهای ریختگی AL-Cu

این الیاژهابه طورکامل توسط الیاژهایAL-Si-Mgجایگزین شده اند.دلیل اصلی برای جایگزینی ویژگی ریختگری فقیرانها می باشد.همچنین الیاژمقاوم به خوردگی نبوده ووزن مخصوص بالاترازالیاژهایAL-Si-Mg دارند.الیاژ۲۴۲شامل ۴درصدمس,۲درصدنیکل و۱/۵درصد منیزیم دارای استحکام بالاتردرماهای بالامی باشدمقدارنیکل پاسخگوی استحکام دمای بالامی باشد.

خواص مکانیکی:

خواص مکانیکی الیاژهای الومینیم ریختگی درجدول۱۵-۱لیست شده است.استحکام می کششی بالاترالیاژهای ریختگی الومینیم معمولا درمحدوده حدود۱۸تا۴۸KSiباشد.الیاژهای ALریخته شده درماسه به علت اندازه سل دندریتی نسبتابزرگ بلحاظ سرعتهای انجماد

اهسته استحکام کششی کمتری ازالیاژهای الومینیمdie-castیاقالب دائمی دارند.
استحکام بالاتردر دومتداخیربوسیله سرعتهای انجمادبالاتروحفرات گازی کمتردرنتیجه استفاده ازقالبهای فلزی می باشد.درریخته گری تحت فشارتغذیه مذاب,منافذگازی راکاهش می دهد.بعنوان یک مثال,الیاژ۳۵۶دارای یکMinاستحکام کششیSi30KSiاست وقتی درقالب ماسه ای ریخته شده وتاماکزیمم استحکام(تمپرT6)پیرمی شوند.اماوقتی در قالب دائمی ریخته می شوند یک پیک استحکامSi33KSحاصل می شود.

جدول (۱۵ - ۱): خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم در قالب دائمی و تحت فشار

Typical mechanical properties of sand-, permanent-mold-, and die-cast aluminum alloys†

Alloy and temper	Type of casting‡	Tensile strength, ksi	Yield strength, ksi	Elongation, %
208	SC	21	14	2.5
213	SC	24	15	1.5
213	PM	28	19	2.0
222-T551	PM	37	35	< 0.5
242-T571	PM	40	34	1.0
295-T6	SC	36	24	5.0
B295-T6	PM	40	26	5.0
308	PM	28	16	2
319-F	PM	34	19	2.5
319-T6	PM	40	27	3.0
F332-T5	PM	36	28	1.0
355-T6	PM	42	27	4.0
C355-T61	PM	44	34	3.0
356-T51	SC	25	20	2.0
356-T6	SC	33	24	3.5
356-T6	PM	37	27	5.0
357-T6	PM	52	43	5.0
359-T61	PM	47	37	7.0
A332-T551	PM	36	28	0.5
413	DC	43	21	2.5
443	DC	33	16	9.0
360	DC	47	25	3.0
A360	DC	46	24	5.0
380	DC	48	24	3.0
A380	DC	47	23	4.0

1 ksi = 6.89 MPa.

† After "ASM Databook," published in Met. Prog., vol. 112, no. 1, mid-June 1977; and "ASM Databook," published in Met. Prog., vol. 114, no. 1, mid-June 1978.

‡ SC: sand-cast; PM: permanent-mold-cast; DC: die-cast.

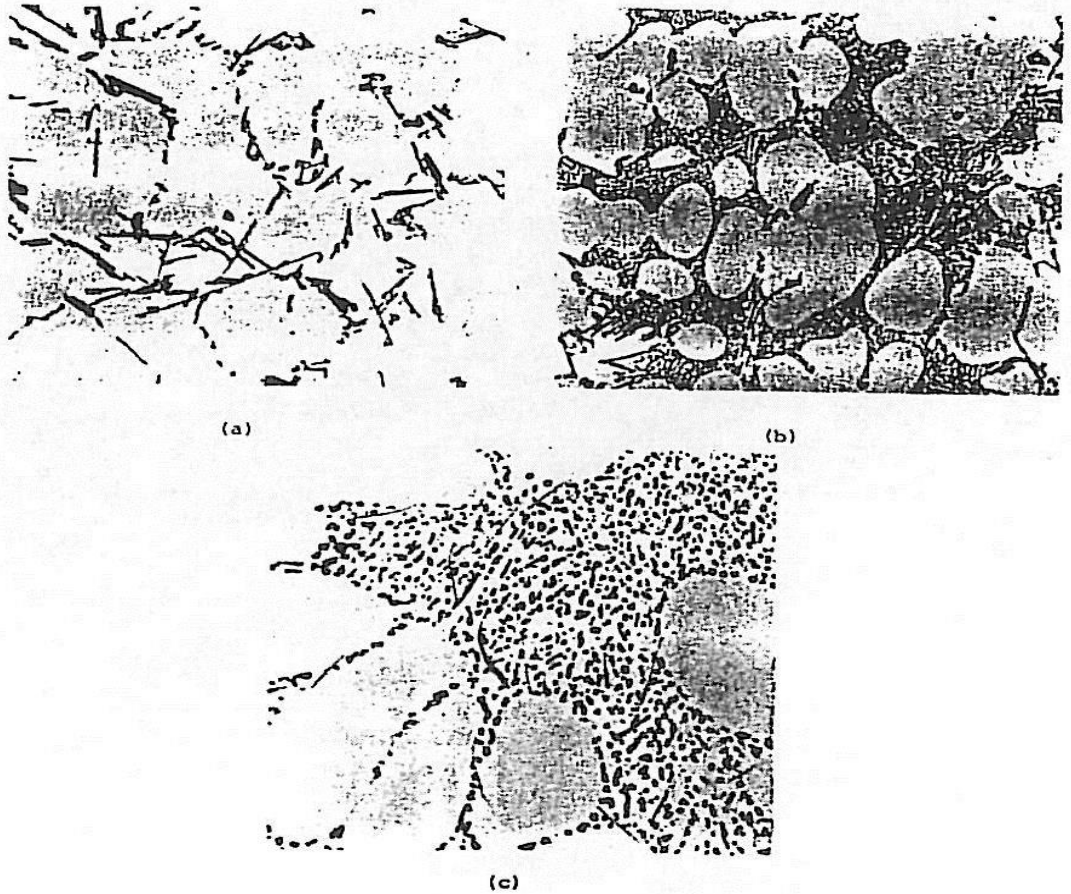


FIGURE
Microstructures of alloy 356 (Al–7% Si–0.3% Mg) cast and heat-treated in different conditions. (*a*) Alloy 356-T51, sand-cast, artificially aged. The angular dark gray constituent is silicon; black script is Mg_2Si; blades are $Fe_2Si_2Al_9$; light script is $FeMg_3Si_6Al_8$. (0.5% hydrofluoric acid; 250×.) (*b*) Alloy 356-F, modified by the addition of 0.025% sodium; as sand-cast. Structure consists of interdendritic network of silicon particles. (0.5% hydrofluoric acid; 250×.) (*c*) Alloy 356-T7 modified by sodium addition sand-cast, solution heat-treated and stabilized. Structure: rounded particles of silicon and blades of $Fe_2Si_2Al_9$. (0.5% hydrofluoric acid; 250×.) (*Courtesy of F. Krill, Faiser Aluminum Co., and as in the Metals Handbook, 8th ed., vol. 7, American Society for Metals, 1972, p. 258.*)

شکل (۱۷ - ۱): ریز ساختار آلیاژ ۳۵۶

الیاژهای AL-Li

ترکیب شیمیایی:

الیاژهای AL-Li درسال۱۹۸۰ابتدابرای کاهش وزن ساختمان های هواپیماوسفینه بوجودامدند انهاهمچنین برای استفاده درکاربردهای انجمادی(ccryogenic).برای مثال,درتانک حامل اکسیژن مایع وسوخت ئیدروژن برای وسایل نقلیه فضائی موردتحقیق قرارگرفته اند.قیمت الیاژهای AL-Liنوعا۳تا۵برابر الیاژهای الومینیم سنتی به دلیل نیازبه تجهیزات ویژه برای فرایند وقیمت بالای لیتیم دارند.بنابراین کاربرد این الیاژها محدودبه برنامه هایی است که کاهش وزن دراولویت قراردارد.الیاژهای AL-Liدوتایی تافنس شکست وداکتیلیته کم دارند الیاژهایAL-Li شامل مس ومنیزیم رسوبات هموژن وریزتری رابرایاستحکام اماده می نمایند.
الیاژ۲۰۹۰به عنوان یک الیاژ بااستحکام بالاست با۸درصددانسیته کمتر۱۰درصد مدول الاستیک بیشترازT6-7075که الیاژالومینیم بااستحکام بالامورداستفاده درساختمان هواپیمامیباشد.
همچنین الیاژ۲۰۹۰ دارای خواص انجمادی وجوشکاری عالی بوده ومناسب برای فرم دهی سوپرپلاستیک می باشد.
ساختمان:
تسلسل تغییرات ساختاردرتجزیه الیاژهای دوتایی AL-Liبابیشتراز wt 1%لیتیم به صورت زیر می باشد.

محلول جامد فوق اشباع—$\delta'(AL_3Li) \Longrightarrow \delta(AL\ Li)$

مدرکی دال برتشکیل نواحیGPدرمراحل اولیه تجزیه محلول جامدفوق اشباع الیاژAL-Li وجودندارد.فازنیمه پایدار(AL_3Li)بسرعت بفرم یک رسوب کوهیرنت کروی درزمینه الیاژAL-Li تشکیل می شود.ثوابت شبکه رسوب (AL_3Li)بازمینه منطبق می باشد نتیجه انکه ریزساختار الیاژAL-Li بعداز عملیات حرارتی محلولی,کوانچ وپیری درزمانهای کوتاه زیرحدحلالیت جامد δ/
بوسیله توزیع هموژن ازرسوبات گاماکروی,کوهیرنت مشخص می گردد.