



بهینه سازی خواص مکانیکی آلیاژ LM ۲۲ بدون استفاده از ریزکننده ها و بهسازها

سید محمدرضا یوسف ثانی^۱، مهرداد کاشفی^۲، محمدرضا سلطان محمدی^۳، رضا قربانی^۳

چکیده

در تحقیق حاضر که بر روی آلیاژ (BS۱۴۹۰) LM۲۲ انجام گرفت، نمونه هایی در قالب های مسی و چدنی با سرعت های متفاوتی سرد شدند و سپس تحت عملیات محلولی و پیرسازی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که در سرعت های بالاتر سرد شدن، افزون بر به دست آوردن ساختار ظریف تر (خواص مکانیکی مطلوب تر)، قابلیت عملیات حرارتی پذیری نیز افزایش می یابد. گفتنی است در سرعت های بالاتر سرد شدن، نتایج مطلوب با زمان های کمتر عملیات محلولی به دست آمدند. همچنین مشخص شد با عملیات حرارتی می توان استحکام نهایی را تا ۳۰٪ و ازدیاد طول را تا ۵۸٪ افزایش داد.

واژه های کلیدی: سرعت سرد کردن، پیر کردن، عملیات محلولی، بهساز، ریزکننده

۱- مربی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- کارشناس متالورژی صنعتی

بهینه سازی خواص مکانیکی آلیاژ LM 22 بدون استفاده از ریزکننده ها و بهسازها

سید محمدرضا یوسف ثانی^۱، مهرداد کاشفی^۲، محمدرضا سلطان محمدی^۳، رضا قربانی^۴

چکیده

در تحقیق حاضر که بر روی آلیاژ (BS1490) LM22 انجام گرفت، نمونه هایی در قالب های مسی و چدنی با سرعت های متفاوتی سرد شدند و سپس تحت عملیات محلولی و پیرسازی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که در سرعت های بالاتر سرد شدن، افزون بر به دست آوردن ساختار ظریف تر (خواص مکانیکی مطلوب تر)، قابلیت عملیات حرارتی پذیری نیز افزایش می یابد. گفتنی است در سرعت های بالاتر سرد شدن، نتایج مطلوب با زمان های کمتر عملیات محلولی به دست آمدند. همچنین مشخص شد با عملیات حرارتی می توان استحکام نهایی را تا 30% و ازدیاد طول را تا 58% افزایش داد.

واژه های کلیدی: سرعت سرد کردن، پیر کردن، عملیات محلولی، بهساز، ریزکننده

مقدمه

آلیاژ LM22 یکی از آلیاژهای ریختگی گروه Al-Si-Cu است که به خاطر قابلیت عملیات حرارتی پذیری بالا، در صنعت و به ویژه در صنعت خودرو، کاربرد گسترده ای دارد. از آلیاژهای یاد شده در ساخت سرسیلندر و کارتر موتورهای احتراق داخلی و نیز پوسته پمپ روغن و جعبه فرمان استفاده می شود [1]. قابلیت ریخته گری و جوشکاری این آلیاژها بسیار خوب است [2].

بهینه سازی خواص مکانیکی ...

فاکتورهای کنترل کننده ریزساختار آلیاژهای Al-Si-Cu

عوامل مؤثر بر ریز ساختار و یا از منظر دیگر، مؤثر بر خواص مکانیکی این آلیاژها عبارتند از:

1. مربی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

2. استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

3 و 4. کارشناس متالورژی صنعتی

الف- سرعت سرد شدن: سرعت سرد شدن از مهم ترین عوامل کنترل ساختار ریختگی است؛ مورفولوژی فازهای موجود، اندازه دانه، اندازه سلول ها و ساختار یوتکتیک سیلیکونی بیشترین تأثیرپذیری را از این فاکتور دارند [3].

به طور کلی، هنگام انجماد با افزایش سرعت سرد شدن، سرعت جوانه زنی نسبت به سرعت سرد شدن افزایش می یابد [4] و این خود موجب ریزدانه شدن ساختار ریختگی و افزایش استحکام قطعه می گردد. مهم ترین تأثیر سرعت سرد شدن بر مورفولوژی فازهای ثانویه و ساختارهای یوتکتیکی است چرا که خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Si-Cu بیش از همه تحت تأثیر مورفولوژی این فازها می باشد [5]. مهم ترین فاز ثانویه ای که مورفولوژی آن تا حدی از سرعت سرد شدن تبعیت می کند، فاز $FeSiAl_5$ است [6]. به طور کلی طول و کسر حجمی سوزن های $FeSiAl_5$ با کاهش سرعت سرد شدن افزایش می یابند. این سوزن ها نقاط ترجیحی و با پتانسیل بالا برای جوانه زنی بلورهای سیلیسی می باشند. کاهش سرعت سرد شدن باعث افزایش بلورهای سیلیسی می شود و افزایش این بلورها که به صورت تیغه ای هستند، موجب افت خواص خواهد شد [6].

ب- بهسازیها: بهسازیها برای اصلاح ریزساختار و در راستای بهبود خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم به کار می روند. در این آلیاژها بهسازی فاز غیرفلزی سیلیسیم، توسط عناصری همچون آنتیموان، سدیم و استرانسیوم انجام می شود. امروزه استرانسیوم به خاطر اکسیداسیون و تبخیر کمتر، دارا بودن زمان میرایی طولانی تر و نداشتن اثرات زیست محیطی بیشتر از سدیم مورد استفاده قرار می گیرد. استرانسیوم به صورت های: خالص، نمک و آمیزان به مذاب افزوده می گردد [7].

به طور کلی بهسازیها بر روی اندازه دانه ای و DAS تأثیر چندانی ندارند ولی بر مورفولوژی فازهای ثانویه اثر گذاشته موجب بهبود خواص می شوند. بهسازیها باعث می شوند که $CuAl$ در نواحی غیریوتکتیکی بیشتر به صورت بلورک رسوب کند [5]. تأثیر بسیار مهم بهسازیها بر فازهای Si و $FeSiAl_5$ می باشد. این فازها به خاطر شکل سوزنیشان کنترل کننده خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Si-Cu می باشند. استفاده از بهسازی سبب تکه تکه شدن تیغه های سیلیسی بین دندریتی می شود. به این ترتیب نقاط تمرکز تنش زیادی از بین رفته، استحکام و درصد ازدیاد طول افزایش چشمگیری پیدا می کند. همچنین بهسازی باعث می شود که تیغه های سوزنی شکل $FeSiAl_5$ به صورت رشته ای رسوب کنند [8]. رسوب تیغه های $FeSiAl_5$ به صورت رشته ای دو امتیاز دارد: 1- تیغه ها دارای تیزی کمتر (نقاط تمرکز تنش کمتر) می باشند؛ 2- جداره

رشته ای شکل از صافی کمتری برخوردار بوده، فرورفتگی ها و برآمدگی های بسیار ریزی که به شکسته شدن تیغه ها در عملیات حرارتی کمک می کند، بر روی آن ایجاد می شود [5].

ج- ریزکننده های دانه: ریزکننده ها که نقاط جوانه زنی را به وجود می آورند، موجب بهبود خواص مکانیکی می شوند. معروف ترین ریزکننده ها بور، تیتانیوم و یا ترکیبی از آن ها، TiB_2 ، می باشد [9].
د- اثر ترکیب: ترکیب شیمیایی آلیاژ بر تشکیل فازهای موجود اثر می گذارد. در این میان آهن یکی از عناصری است که نقش بسیار مهمی در کنترل خواص مکانیکی بر عهده دارد. افزایش درصد آهن منجر به افزایش فازهای آهن دار، $FeSiAl$ (سوزنی شکل) و $FeSiAlMn$ (اسکرپیت)، می شود. این فازها مناطق تمرکز تنش را افزایش داده، باعث افت خواص مکانیکی می گردند. اثر افزایش درصد آهن به طور خلاصه در زیر آورده شده است [7 و 9 و 10].

- 1- اندازه DAS را زیاد می کند.
- 2- اندازه دانه ای را افزایش می دهد.
- 3- وسعت اصلاح را کاهش می دهد.
- 4- ماکزیمم طول $FeSiAl$ را افزایش می دهد.
- 5- حفرات انقباضی را افزایش می دهد.

روش انجام آزمایش

در این تحقیق از آلیاژ LM22 (استاندارد BS 1490-1988) استفاده شد که ترکیب شیمیایی آن در جدول (1) ارائه شده است.

جدول 1. ترکیب شیمیایی آلیاژ LM22

Si	Cu	Fe	Ti	Mn	Zn	Al
5/83	3/2	0/40	0/14	0/32	0/01	bal

برای بررسی اثر سرعت سرد کردن از دو قالب چدنی و مسی استفاده شد. برای ذوب آلیاژ از پاتیل گرافیتی و کوره الکتریکی؛ و برای گاززدایی مذاب از قرص هگزا کلرواتان C_2Cl_6 با 2 تا 3 درصد وزنی استفاده گردید. قرص ها توسط فلانج به داخل مذاب فرو برده شدند. برای دستیابی به فوق ذوب مناسب، دمای ریخته گری، با استفاده از مرجع [2] و نیز انجام چند آزمون، $720^{\circ}C$ انتخاب گردید. خواص مکانیکی نمونه ها در

شرایط ریختگی و نیز بعد از عملیات حرارتی، $T_B(T_4)$ ، مورد بررسی قرار گرفت [2]. شرایط عملیات حرارتی محلولی در زیر آورده شده است:

- 1- عملیات محلول سازی ($530^{\circ}\text{C} - 515$)
- 2- زمان محلول سازی (6-9 hr)
- 3- کوئنچ در آب داغ ($80^{\circ}\text{C} - 70$)

بعد از عملیات محلولی، نمونه ها به مدت 2 هفته در دمای محیط نگه داری شدند و پس از آن آزمون کشش (بر پایه استاندارد (ASTM, B557M-B4) ، سختی سنجی و متالوگرافی نمونه ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

افزایش سرعت سرد کردن افزون بر کاهش اندازه دانه ای فاز زمینه، موجب ظریف شدن فازهای ثانویه نیز می گردد و به این ترتیب، استحکام آلیاژ افزایش می یابد. نمونه های تهیه شده در قالب مسی، به خاطر سرعت بالاتر سرد شدن، از استحکام بیشتری نسبت به نمونه های تهیه شده در قالب چدنی برخوردار می باشند. با افزایش سرعت سرد شدن ازدیاد طول نسبی، همانند استحکام، افزایش می یابد ولی سختی پایین می آید (جدول 2). این نتایج را می توان با توجه به ریزساختار نمونه ها چنین توجیه نمود: ذرات سیلیسیم (خاکستری تیره) و تیغه های فاز آهن دار FeSiAl_5 (خاکستری روشن) در نمونه قالب مسی نسبت به نمونه قالب چدنی ظرافت بیشتری دارند. از طرفی چون درصد ازدیاد طول نسبی شدیداً تابع ظرافت فازهای ثانویه و فاکتور تمرکز تنش تیغه های سیلیسیم، و سوزن های FeSiAl_5 می باشد، هرچه این فازها ظریف تر باشند، تمرکز تنش کمتر شده و به تبع آن درصد ازدیاد طول نسبی افزایش می یابد. سختی این آلیاژها نیز شدیداً تابع کسر حجمی ذرات فاز ثانویه و ظرافت فاصله بازوهای ثانویه دندریتی می باشد [3].

جدول 2. مقایسه خواص مکانیکی نمونه های قالب چدنی و قالب مسی

HB	%El	UTS (MPa)	خاصیت نمونه
98	3	160	چدنی
89	3/5 دهمین کنگرهی سالانهی انجمن مهندسين متالورژی ايران	169	مسی

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که درشتی ذرات سخت Si و FeSiAl_5 نمونه قالب چدنی تأثیر بیشتری در افزایش سختی نسبت به ظرافت فاصله بازوهای ثانویه دندریتی نمونه قالب مسی دارند. عملیات

حرارتی (عملیات محلولی و رسوب سختی) برای نمونه های با سرعت بالای انجماد، تأثیر چشمگیری بر خواص مکانیکی دارد. برای نمونه های با ساختار ظریف تر، جهت دستیابی به خواص بهینه، زمان های محلولی مورد نیاز است. عملیات حرارتی بر روی فازهای ثانویه به صورت زیر اثر می گذارد:

1- اثر بر فاز $CuAl_2$ ، این فاز در مرحله عملیات محلولی در زمینه آلومینیومی حل می شود و در مرحله رسوب سختی، رسوب می نماید.

2- اثر بر ذرات Si و $FeSiAl_5$ ، مورفولوژی این فازها در خلال فرآیند عملیات حرارتی تغییر می یابد. این ذرات تکه تکه شده و از حالت تیغه ای به حالت کروی در می آیند. در خلال مراحل تکه تکه و کروی شدن، مرتباً چگالی سطحی و چگالی خطی ذرات کاهش یافته و فاصله آن ها افزایش می یابد. تغییرات خواص مکانیکی که به طور عمده متأثر از ویژگی های مورفولوژی ذرات سیلیسیمی است، به فواصل آن ها نیز وابسته می باشد [12]. هرچه اندازه ذرات کوچک تر و ظرافت ساختار بیشتر باشد، زمان مورد نیاز برای عملیات محلولی کاهش می یابد و ذرات سیلیسیمی در زمان های کمتری خواهند شکست. اثر زمان عملیات محلولی بر خواص مکانیکی نمونه های قالب مسی و قالب چدنی، به ترتیب، در جدول های 3 و 4 آورده شده است.

جدول 3. اثر عملیات محلولی بر خواص مکانیکی نمونه قالب مسی

HB	%El	UTS (MPa)	خاصیت
			زمان (hr)
101/5	5/5	230/6	6
87	5/1	211/4	7/5
87	3/7	172/6	9

بهینه سازی خواص مکانیکی ...

جدول 4. اثر عملیات محلولی بر خواص مکانیکی نمونه قالب چدنی

HB	El(%)	UTS (MPa)	خاصیت
			زمان (hr)
92/5	3/7	164/5	6
85/5	4/2	181/4	7/5
75	2/4	162/5	9

با عملیات حرارتی محلولی، خواص مکانیکی نمونه های قالب مسی در زمان های کمتر، و خواص مکانیکی نمونه های قالب چدنیدر زمان های بیشتر به مقادیر بیشینه خود رسیده اند. در نمونه های قالب مسی ازدیاد طول نسبی 57 درصد و در نمونه های قالب چدنی ازدیاد طول نسبی 40 درصد افزایش داشته است. در این نمونه ها استحکام نیز، به ترتیب، 39 درصد و 13 درصد افزایش داشته است و این حکایت از آن دارد که عملیات حرارتی بر ساختارهای ظریف به مراتب بیشتر از ساختارهای خشن تأثیر می گذارد. مقایسه ریزساختار نمونه های قالب چدنی و نمونه های بهسازی شده نشان داد که در آلیاژ بهسازی شده ذرات سیلیسیمی کروی تر می باشند ولی در مورد نمونه های قالب مسی وضعیت به گونه ای دیگر است؛ در این نمونه ذرات سیلیسیمی به مراتب ظریف تر از نمونه های بهسازی شده اند، اگرچه کمتر کروی اند. ظرافت بیشتر این ذرات خواص مکانیکی مطلوب تری به دست می دهد. در جدول 5 عوامل بهبود خواص مکانیکی برای آلیاژهای بهسازی شده سرد شده با سرعت متوسط و سرد شده با سرعت بالا با هم مقایسه شده اند.

جدول 5. بهبود خواص بهسازی شده

عوامل بهبود خواص مکانیکی	استفاده از بهساز و سرعت متوسط سرد شدن	سرد شدن با سرعت بالا
مورفولوژی ذرات Si	خوب	خوب
مورفولوژی ذرات FeSiAl5	خوب	متوسط
ریز شدن DAS	ضعیف	دهمین کنگره هیئت مهندسی صنایع ایران
زمان عملیات محلولی	متوسط	خوب

نتیجه گیری

- 1- افزایش سرعت سرد کردن آلیاژ LM22 باعث بهبود خواص مکانیکی آن می شود.
- 2- مهم ترین فاکتورهای ریزساختاری که خواص مکانیکی به آن وابسته می باشد، مورفولوژی تیغه های Si و سوزن های FeSiAl5 می باشد. هرچه شکل این فازها از حالت تیغه ای به کروی نزدیک تر شود و یا، ظرافت تیغه ها بیشتر گردد، استحکام و به خصوص درصد ازدیاد طول نسبی افزایش خواهد یافت.
- 3- با توجه به اینکه اندازه ذرات با زمان عملیات محلولی رابطه دارند، هرچه ساختار ظریف تر باشد (سرعت سرد شدن بالاتر)، خواص مکانیکی بهتر می شود. خواص مکانیکی بیشینه در زمان های کمتر عملیات محلولی به دست می آیند.
- 4- اصلاح مورفولوژی فاز Si هم با بهسازی امکان پذیر است و هم با استفاده از سرعت های بالای سرد شدن همراه با عملیات محلولی. در عین حال، فاز FeSiAl5 احتمالاً فقط با بهسازی و عملیات محلولی اصلاح می شود و با استفاده از سرعت های بالای سرد شدن همراه با عملیات محلولی فقط می توان ظرافت آن را افزایش داد.
- 5- بهینه سازی خواص مکانیکی آلیاژهای Al-Si-Cu که درصد آهن بسیار کمی دارند (کاهش FeSiAl5) به راحتی با سرعت بالای سرد شدن و عملیات محلولی امکان پذیر است. برای آلیاژهای با درصد آهن بالاتر می توان از عملیات ترکیبی یعنی سرعت سرد کردن بالا و بهسازی، استفاده نمود.

مراجع

- 1- J.R.Davis, "Aluminum and Aluminum Alloys", 1996 Edited by, ASM Specialty Handbook.
- 2- Brandes E.A. and Brook G.B. , "Smithells Light Metals Handbook", 1998, Ltd Publication.
- 3- علی حبیب الله زاده و جلال حجازی، "ارتباط ریزساختار و خواص مکانیکی در آلیاژ 319 ریخته گری آلومینیوم"، جامعه ریخته گران ایران، 1377، صفحات 66-75.
- 4- احمد منشی، رضا مرادی علیعربی، "انجماد فلزات"، 1378، نشر ارکان اصفهان.
- 5- Samuel F.H., Samuel A.M., Doty H.W., "Factors Controlling the Type and Morphology of Cu-containing Phases in 319 Al Alloy", AFS Transactions... بهینه سازی خواص مکانیکی PP 893 – 901.
- 6- Ananthanaryana L., Samuel F.H., Gruzleski J.E., "Thermal Analysis Studies on the Effect of Cooling Rate on the Microstructure of 319 Aluminum Alloy", AFS Transactions, Vol.100, 1992, PP 383 – 391.

- 7- جلال حجازی، ریخته گری فلزات غیر آهنی، 1363، انتشارات جامعه ریخته گران ایران.
- 8- Gruzleski J.E. and Closset B.M., "The Treatment of Liquid Aluminum Silicon Alloys", American Foundrymen's Society Inc., 1990, Des Plaines. IL.
- 9- اردشیر طهماسبی، آلومینیوم، 1364، انتشارات جامعه ریخته گران ایران.
- 10- محمد بابازاده اسماعیلی، کروی کردن ترکیبات سوزنی شکل آهن دار آلیاژ Al-Si ، 1374، جامعه ریخته گران ایران، صفحات 114-110.
- 11- محمد تجلی و جلال حجازی، "تأثیر جوانه زایی و اصلاح ساختار بر خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم 6-8 مس"، جامعه ریخته گران ایران، 4-2، 1374، صفحات 157-149.
- 12- علی حبیب الله زاده، جلال حجازی، بهینه سازی خواص مکانیکی آلیاژ Al-Si-Cu ، 319، دانشگاه علم و صنعت ایران، 1370.

Optimizing Mechanical Properties of LM22 Alloy Without Using Modifiers

S.M.R. Yusof Sani¹, M. Kashefi², M.R. Soltan Mohammadi³, R. Ghorbani⁴

1-sani@ferdowsi.um.ac.ir

Abstract

The influence of cooling rate on heat treat ability of LM22 alloy was investigated with the purpose of optimizing the use of hardeners.

Specimens were produced in cast iron and copper molds. Various solution annealing and aging parameters used to adjust final properties of specimens.

The study showed that in higher cooling rates, besides achieving finer structures (more desirable mechanical properties), the heat treat ability increases. Furthermore, in higher cooling rates, better properties can be obtained with reduced solution annealing times. It was also shown that heat treatment can increase tensile strength up to 30% and elongation up to 58%.

Keywords: Cooling rate, Aging, Solution Treatment, Hardener, Modifier

1- Lecturer

2- Assistant Professor

3- Engineer

4- Engineer