# تاثیر Li بر ویژگی‌های کششی آلیاژ آلومینیوم A۳۸۰

مصطفی کارآموز*[۱]، مسعود امامی[۲]، محمد علیپور[۱]، مرتضی آذربرمس[۱]

## چکیده

در این پژوهش تاثیر عنصر لیتیم بر ریز ساختار و خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم ۳۸۰ A بررسی شده است. نشان داده شد هنگامیکه لیتیم تا میزان ۰/۱٪ وزنی به آلیاژ پایه (Al-8.5%Si-3.5%Cu-1%Fe) اضافه می شود مورفولوژی سیلیسم یوتکتیک و فاز $\beta$-$Al_5FeSi$ از حالت صفحات تیغه ای و ضخیم پیوسته به حالت الیافی و ریز بهسازی می شود. آلیاژ حاوی ۰/۰۶٪ لیتیم استحکام و ازدیاد طول نسبی بالاتری دارد که احتمالا به علت ریز شدن صفحات تیغه ای شکل سیلیسیم یوتکتیک و فاز $\beta$ می باشد. در مقادیر بیشتر از ۰/۰۶٪ لیتیم، کاهش در استحکام و ازدیاد طول نسبی می تواند بعلت افزایش درصد تخلخل و ایجاد فازهای نامطلوب دیگر باشد.

**واژه‌های کلیدی**: آلومینیوم۳۸۰، لیتیم، فاز بتا، سیلیسیم یوتکتیک، ویژگی‌های کششی.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشکده‌ی مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران.

۲- استاد تمام دانشکده‌ی مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران.

*- نویسنده‌ی مسئول مقاله: ravari@ut.ac.ir

## پیشگفتار

آلیاژ آلومینیوم۳۸۰ به دلیل ویژگی‌های خاص خود در صنایع گوناگون، بویژه صنایع خودروسازی ،کاربردهای زیادی دارد. لذا، برای رسیدن به ویژگی‌های برتر در ریخته گری، عملیاتی مانند گاززدایی، بهسازی، عملیات حرارتی و... روی آلیاژ انجام می‌شود [۱].

عملیات اصلاح و بهسازی به چند روش انجام می‌گیرد که شامل: افزایش سرعت سرد کردن آلیاژ، استفاده از عناصر اصلاح کننده و بهساز، عملیات حرارتی و ایجاد ارتعاش در حین انجماد می‌باشد [۴-۲]. هدف تمام این روش‌ها ریز کردن و تغییر شکل سیلیسیم‌های یوتکتیک و اولیه (در صورت وجود) از حالت سوزنی به رشته ای و هم‌چنین، کم کردن درصد و تغییر دادن شکل ترکیبات بین فلزی موجود در ریزساختار از حالت تیز و سوزنی به شکل‌های کم ضرر تر مانند ستاره‌ای یا حروف چینی می‌باشد. کلیه‌ی این تغییرات در نهایت باعث افزایش استحکام، انعطاف پذیری و شکل پذیری آلیاژ می‌شود [۱۱-۵]. استفاده از عناصر بهساز شیمیایی در مقایسه با سایر روش‌های بهسازی مقرون به صرفه تر است. بر پایه‌ی نظر کروسلی[1] و مندولفو[2] استفاده از بهساز باعث تخریب ذرات AlP می‌شود که محل‌هایی مناسب برای جوانه زنی فاز سیلیسیم می‌باشند و بنابراین، جوانه زنی فاز سیلیسیم در مادون تبرید بیش‌تری انجام شده و فاز سیلیسیم ریزتری بوجود می‌آید [۱۲و۱۳]. از سوی دیگر، هلاول[3] و همکارانش برای بهسازی نظریه‌ای را بر مبنای رشد فاز سیلیسیم بیان نموده‌اند. در این نظریه عنصر بهساز در فصل مشترک رشد فاز سیلیسیم قرارگرفته و باعث فعال شدن ساز و کار ازدیاد تعداد دوقلویی‌ها[4] در حین رشد می‌شود. این ساز و کار باعث رشد فاز سیلیسیم به صورت رشته‌ای می‌گردد [۲و۱۲و۱۶-۱۴]. عناصری متعدد به عنوان بهساز مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند. زمان میرایی بسیار کم سدیم و هم‌چنین، تمایل به ایجاد گاز به خاطر ماهیت جذب رطوبت شدید این عنصر از مهم‌ترین جنبه‌های منفی آن تلقی می‌شود. استرانسیم نیز پس از نگهداری طولانی مذاب از بین می‌رود، منتها زمان میرایی آن مانند سدیم نیست. آنتیموان اصولا سیلیسیم را در واکنش یوتکتیک ریز می‌کند و آن را از حالت سوزنی به صورت لایه ای در می‌آورد و تقریبا ساختار کاملا بهسازی شده را نمی‌توان با استفاده از آنتیموان بدست آورد. لیتیم عنصری مؤثر در بهسازی فاز سیلیسیم یوتکتیک در آلیاژهای Al-Si است. هم‌چنین، گزارش شده است که لیتیم باعث افزایش حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیوم و اکسیدهای سطحی آن می‌شود [۱۹-۱۷]. هدف از این پژوهش تاثیر لیتیم بر ریزساختار و ویژگی‌های کششی آلومینیوم ۳۸۰ A می‌باشد.

## روش پژوهش

برای مطالعه‌ی اثر لیتیم بر ریخت شناسی و ویژگی‌های کششی آلومینیوم ۳۸۰ از لیتیم خالص استفاده شد. ترکیب شیمیایی اسمی آلیاژ بکار برده شده در جدول ۱ ذکر شده است. عملیات ذوب در کوره‌ی مقاومتی کوچک انجام گرفت. برای هر ذوب، ۱۶۰ گرم از آلیاژ آلومینیوم ۳۸۰ در $750^{\circ}C$ ذوب گردید. پس از عملیات گاززدایی، عنصر لیتیم در سه درصد گوناگون (۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۱ درصد وزنی) به مذاب اضافه شد و بلافاصله ذوب ریزی در درون یک قالب استوانه ای که در شکل (۱- الف) آورده شده است، انجام گرفت. جهت مطالعه و بررسی اثر لیتیم بر ریخت شناسی سیلیسیم یوتکتیک و ترکیبات بین فلزی غنی از آهن از میکروسکوپ نوری استفاده شد. هم‌چنین، جهت بررسی تاثیر لیتیم بر ویژگی‌های کششی آلیاژ، نمونه‌ها مورد آزمایش کشش قرار گرفتند که در شکل (۱- ب) آمده است.

## نتایج و بحث

### ریزساختار

ریزساختار این نمونه‌ها در شکل ۲ مشاهده می‌شود. با افزودن لیتیم، ریخت شناسی ذرات سیلیسیم یوتکتیک از حالت تیغه‌ای و درشت به حالت الیافی (رشته ای) با اندازه‌ی ریزتر تغییر می‌کند. ملاحظه می‌شود که با افزایش

---

1 - Crosley
2- Mondolfo
3 - Hellawel
4 -Twin plane Re-entrant-Edge

لیتیم تا ۰/۰۶ درصد وزنی (شکل ۲- الف تا ج) ریخت شناسی فاز سیلیسیم یوتکتیک ریزتر می‌شود، اما با افزایش بیش‌تر لیتیم تا ۰/۱ درصد وزنی (شکل ۲- د) تغییر چندانی در ریخت شناسی فاز سیلیسیم نسبت به حالت ۰/۰۶ درصد وزنی (شکل ۲- ج) ایجاد نمی‌شود. ترکیبات بین فلزی حاوی آهن در آلیاژهای Al-Si معمولا به صورت فاز سوزنی β با فرمول شیمیایی $Al_5FeSi$ تشکیل می‌شوند. در شکل (۲- الف تا د) تاثیر لیتیم بر ریخت شناسی فاز سوزنی β مشهود است. در مقایسه با نمونه‌ی بهسازی نشده (شکل ۲-الف) حضور لیتیم باعث کاهش طول سوزن‌های فاز β می‌شود. البته، مشاهده می‌شود که افزودن لیتیم باعث تغییر ریخت شناسی فازهای سوزنی شکل β به ریخت شناسی‌های دیگر فازهای غنی از آهن نمی‌شود بلکه باعث کاهش طول سوزن‌های فاز β در زمینه شده است. هم‌چنین، با مقایسه‌ی شکل (۲- ب تا د) ملاحظه می‌گردد که با افزایش لیتیم تا ۰/۰۶ درصد وزنی (شکل ۲- الف تا ج)، طول فاز β کوتاه‌تر می‌شود، اما با افزایش بیش‌تر لیتیم تا ۰/۱ درصد وزنی (شکل ۲- د) تغییری قابل ملاحظه در طول فاز β نسبت به حالت ۰/۰۶ درصد درصد وزنی لیتیم (شکل ۲- د) ایجاد نمی‌شود.

این تاثیر لیتیم بر سیلیسیم یوتکتیک و فاز بتا را می‌توان به نقش عنصر لیتیم در مراحل جوانه زنی و رشد سیلیسیم‌های یوتکتیک و فاز بتا مربوط دانست. براساس پژوهش‌های صورت گرفته، قرار گرفتن لیتیم جلوی جبهه‌ی رشد سیلیسیم و قرار گرفتن اتمی از آن در صفحات فشرده [۱۱۱] می‌تواند به بروز دوقلویی منجر شود[۱۴].

ایجاد دانسیته‌ی بالایی از دوقلویی‌ها، ساز و کار پیشنهادی جهت اصلاح و بهسازی ترکیبات بین فلزی غنی از آهن با افزودن لیتیم می‌باشد که می‌تواند مرتبط با اتم‌های ناخالصی باشد که عمل اخلال و تخریب را در ساز و کار رشد صفحه ای (سوزنی) فراهم می‌آورند. این نقش اخلال و تخریب بنظر می‌رسد در اثر جذب لیتیم به عنوان عنصر فعال سطحی در مراکز رشد صفحات در حال رشد صورت گیرد[۲۰].

گزارش شده است که با حضور لیتیم فاز دیگری با ترکیب AlSiLi نیز در ساختار تشکیل می‌شود که فازی مخرب بوده و باعث کاهش ویژگی‌های مکانیکی آلیاژ می‌شود. با افزایش درصد لیتیم میزان فاز مخرب AlSiLi و هم‌چنین، تخلخل موجود در آلیاژ افزایش می‌یابد که نا مطلوب است و می‌تواند سبب کاهش ویژگی‌های مکانیکی آلیاژ شود[۲۱].

## ویژگی‌های مکانیکی

نتایج تاثیر عنصر بهساز لیتیم بر استحکام نهایی(U.T.S) و ازدیاد طول نسبی (ε درصد) در شکل‌های (۳- الف) و (۳- ب) رسم شده اند. شکل (۳- الف) نشان دهنده‌ی افزایش استحکام نهایی نمونه در اثر افزایش عنصر لیتیم می‌باشد. بیش‌ترین استحکام را آلیاژ با ۰/۰۶ درصد لیتیم نشان می‌دهد. شکل (۳-ب) تاثیر عنصر لیتیم را بر افزایش مقدار ازدیاد طول نسبی نشان می‌دهد که بیش‌ترین ازدیاد طول نسبی مربوط به آلیاژ با ۰/۰۶ درصد لیتیم می‌باشد. افزودن لیتیم سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی می‌شود که این بهبود می‌تواند به علت تغییر ریخت شناسی سیلیسیم‌های یوتکتیک از حالت تیغه ای به ذرات ریز و تقریبا کروی و هم‌چنین، ریز شدن فازسوزنی شکل بتا باشد. این تغییر ریخت شناسی سبب کاهش تمرکز تنش می‌شود و از اشاعه‌ی زود هنگام ترک در آلیاژ جلوگیری می‌کند. با توجه به این دو نمودار نیز می‌توان پیش بینی کرد که در اثر افزودن لیتیم تا مقدار ۰/۰۶ درصد چقرمگی آلیاژ افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش بیش‌تر درصد لیتیم چقرمگی کاهش می‌یابد. دلیل افت استحکام پس از مقادیر ۰/۰۶ درصد لیتیم را می‌توان به افزایش درصد فاز مخرب AlSiLi و افزایش میزان تخلخل آلیاژ با افزایش درصد لیتیم مرتبط دانست [۲۱].

## نتیجه گیری

۱- نتایج نشان می‌دهند که عنصر لیتیم موجب کروی شدن فاز سیلیسیم و ریزشدن ذرات سوزنی فاز بتا می‌گردد. هم‌چنین، نقش موثری در بهسازی آلیاژهای آلومینیوم – سیلیسیم دارد.

۲- مقدار بهینه‌ی لیتیم جهت بهسازی آلیاژ آلومینیوم ۳۸۰ حدود ۰/۰۶ درصد است که بیش از این مقدار تغییر چندانی در فاز سیلیسیم و فاز بتا نسبت به حالت بهینه ایجاد نمی‌شود.

در صورت افزودن مقدار بهینه‌ی لیتیم استحکام نهایی و ازدیاد طول نسبی آلیاژ به مقداری قابل ملاحظه افزایش می‌یابد.

## منابع


۱- م. مشرف جوادی،۱۳۷۹. بررسی تاثیر میزان درصد کلسیم بر اصلاح وبهسازی آلیاژ آلومینیوم ۳۸۰،مجموعه مقاله های دوازدهمین سمینار سالانه جامعه ریخته گران ایران، ص-۱۴۵.

۲- س. شبستری،۱۳۷۵. بهسازی ترکیبات بین فلزی حاوی آهن توسط استرانسیم، مجله آلومینیوم، شماره اول ،۳۰.

۳- ح. قهار زاده و ی. خرازی،۱۳۷۴. اصلاح ساختار آلیاژهای هایپر یوتکتیک آلومینیوم- سیلیسیم ،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه علم وصنعت .

4- L. Bakerad and Co. 1990.,"Solidification characteristics of aluminum alloys",AFS Trans,

5- K. Toshiro. & Co. 1993."Effect of Fe and Ca on fracture characteristics of various aluminum cast alloys" ,Journal of Japan institute of light metals,v43,p. 11,.

6- B.J. Ye., C.R. Loper., J.R., D.Y.Lu, C.S. Kang., 1993. "An assessment of the role of rare earth in the eutectic modification of cast aluminum-silicon alloys", AFS Trans.

7- S.T. Chiu, 1994."The effect of various elements on the modification of Al-Si alloys", AFS Trans.

8- S.G. Shabestari., J.E. Gruzleski., 1995. "Modification of Iron intermetalics by strontium in 413 aluminum alloys", AFS Trans,Vol.26, pp. 96-95.

9- N. Handiak., J.E. Gruzleski., D. Avgo., 1987. "Sodium, strontium and antimony interaction during modification of A356 alloys",AFS Trans, pp .31-38.

10- M. Shamsuzoha, L.M. Hogar., J.T. Berry., 1993. "Effect of modifying agents on crystallography and growth of silicon phase in Al-Si casting alloy", AFS Trans,Vol.101, pp. 999-1005.

11- A. Abdolahi. and J.E. Gruzleski., 1998."An evaluation of calcium as a eutectic modifier in A356 alloy", Cast metal res, Vol.11, pp. 145-155.

12- J.E. Gruzlesi, 1992. "The art and science of modification : 25 years of progress",AFS Trans, Vol.100, pp. 673-683.

13- Mondolfo, "aluminum Alloys: structure and skan properties" , Butterworth, p.118, 1976.

14- L.Z. Shu, A. Hellawell, 1987. "The mechanism of silicon modification in aluminum-silicon alloys: impurity induced twining", Metallurgical Transactions, 18A, pp. 1721-1733.

15- J.E. Gruzleski, and B. Closset, 1987. "solidification processing", pp .52-54.

16- G.K. Sigworth, 1983."Theoretical and practical aspects of the modification of Al-Si", AFS Trans, vol.91, pp. 7-16.

17- S. Saikawa., S. Sugioka., K. Nakai., A. Kamio., J. Jpn Inst Light Met, 1991. Coulability of Al-Li alloys,Vol.41, pp. 596-601.

18- N.H. Prasad. and R. Balasubramaniam. 1997. "Influence of laser surface treatment on the oxidation behaviour of an Al-Li-Cu alloy" Mater Process Technol, Vol.68, p. 117.

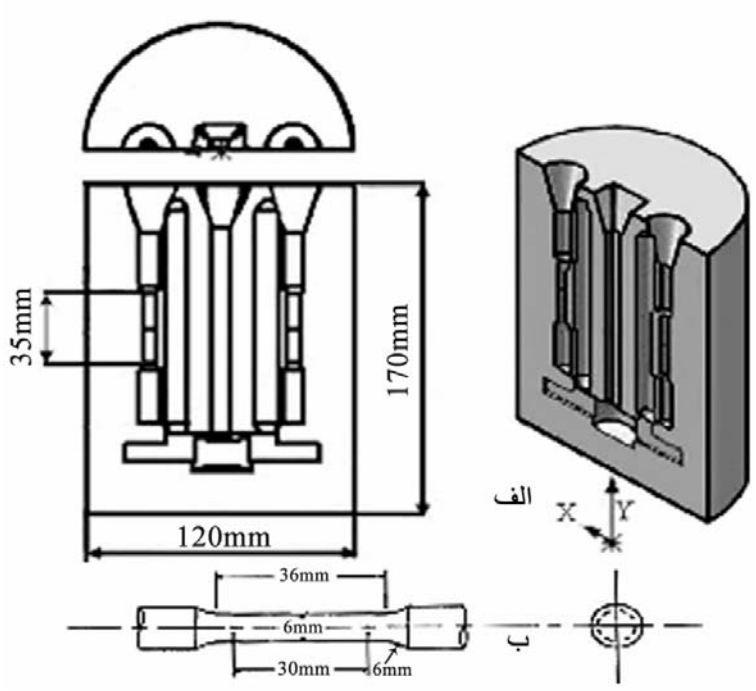
19- G.E.Dieter, "Mechanical metallurgy" ,McGraw Hill, p. 658, 1976.

20- P. Ashtari., H. Tezuka., and T. Sato, 2004." Influence of Li addition on intermetallic compound morphologies in Al–Si–Cu–Fe cast alloys", Scripta Materialia, Vol.51, pp. 17-24.

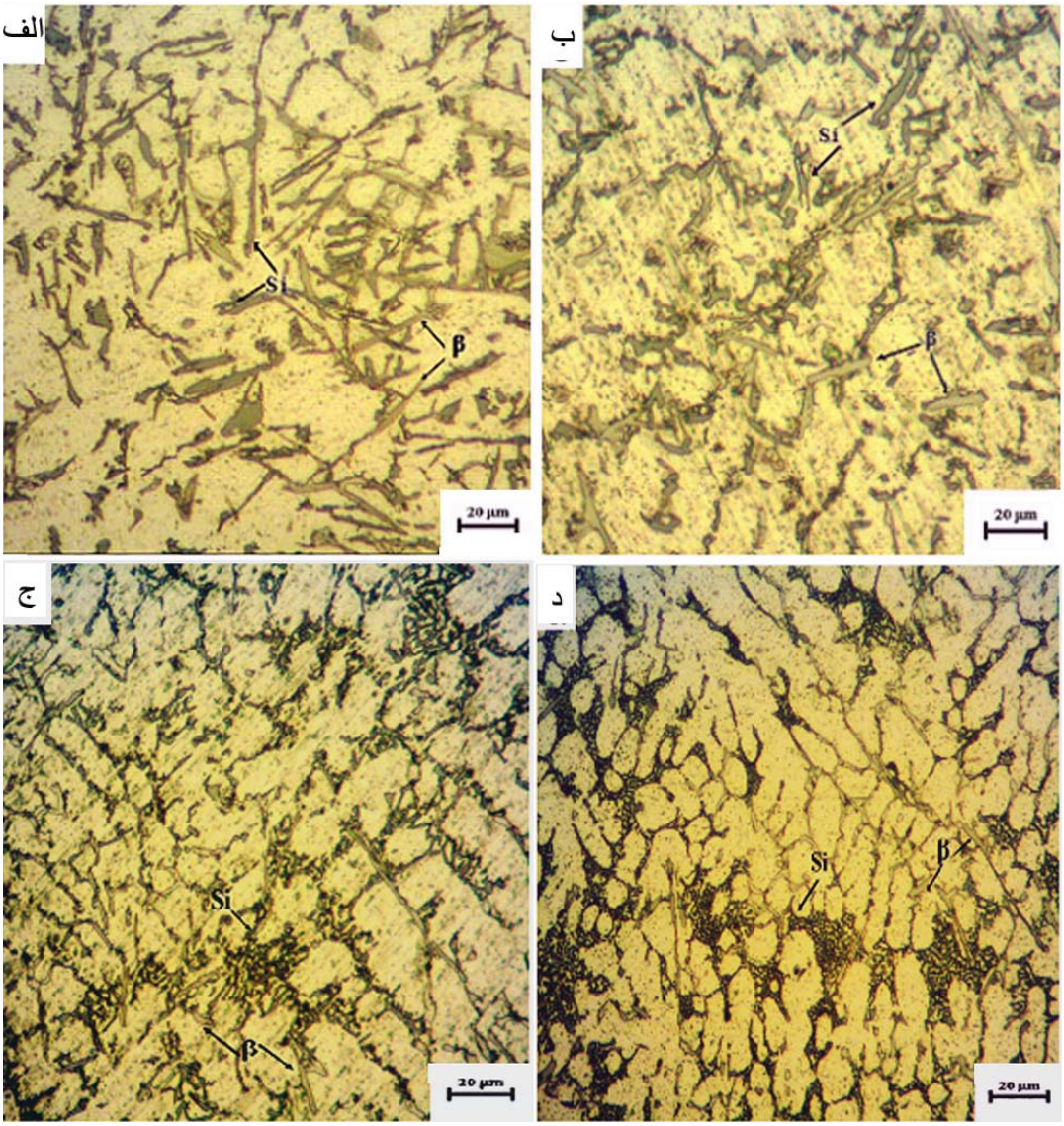
## پیوست‌ها

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم۳۸۰ .

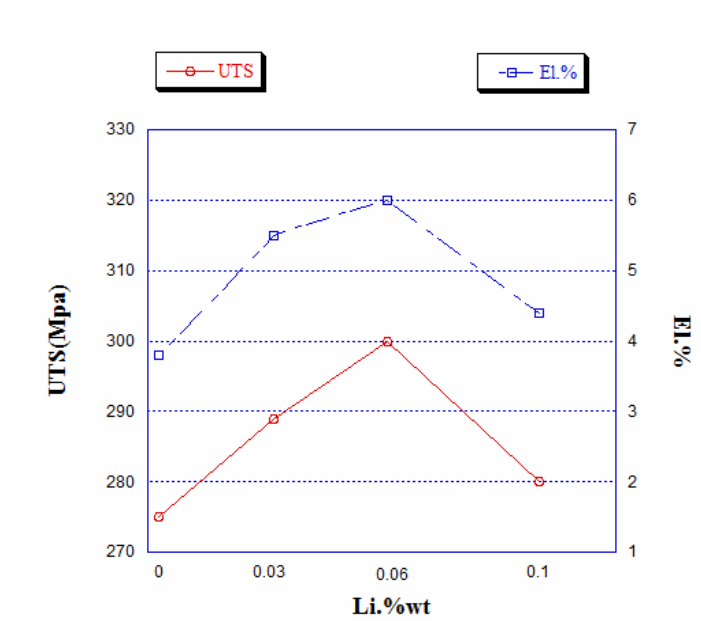
| عنصر | Si | Cu | Fe | Al |
|---|---|---|---|---|
| درصد وزنی | ۸/۵ | ۳/۵ | ۱ | ۸۷ |




شکل ۱- الف- قالب دایمی مورد استفاده در آزمایش‌ها برای عملیات ریخته‌گری و ب- ابعاد نمونه مورد استفاده برای آزمایش کشش.




شکل ۲- ریز ساختار میکروسکوپی آلیاژ ۳۸۰ اچ شده با HF۰/۵ درصد: الف-بدون عنصر بهساز ،ب- با wt درصد۰/۰۳ لیتیم، ج- با wt درصد۰/۰۶ لیتیم و د- با wt درصد۰/۱ لیتیم.




شکل۳- نمودار تغییر ویژگی‌های مکانیکی آلیاژ آلومینیوم A۳۸۰ با تغییر درصد(وزنی) عنصر لیتیم.