



IRANIAN FOUNDRYMEN'S  
SOCIETY

## Founding Research Journal

### Assessment of Bismuth and T6-Heat Treatment on the Microstructural Evolution and Tensile Properties of SiC Nano Particle-Reinforced Al-Si Alloy (LM13)

Gh. Ashuri \*

M.Sc. Graduated Student from School of Metallurgy and Materials Engineering, University of Tehran.

Received 15 March 2018  
Accepted 31 October 2018

#### Abstract:

In the current study, the effects of bismuth and T6-heat treatment on the microstructural and tensile properties of SiC-reinforced Al-Si alloy (LM13) have been investigated. The alloys were subjected to the solution and ageing treatment to investigate its effect on the characteristics of eutectic silicon particles and tensile properties. The microstructures of specimens were examined by using optical and scanning electron microscopy. According to microstructural results, the most improvement in the modification of eutectic silicon phase was achieved by the addition of 1 wt. % bismuth. On the other hand, applying T6-heat treatment spheroidize the silicon particles and thus modify the microstructure of the alloys. Adding bismuth and applying heat treatment simultaneously intensify the modification effect of each of them. The tensile testing was employed to measure the quality index (QI) of the alloys for evaluating the modification efficiency of the alloy with different bismuth contents. The reduction in both tensile strength and ductility after addition of higher contents of bismuth was found to be due to the formation of bismuth-rich phases in the microstructure. The results of fractography showed that bismuth in its optimum level changed the fracture mode from brittle to ductile. This is due to the reduction in dimples size.

#### Keywords:

Bismuth,  
Ageing,  
Eutectic silicon,  
Quality index (Q.I.),  
Fractography

Journal homepage: [www.foundingjournal.ir](http://www.foundingjournal.ir)

#### Please cite this article using:

Ashuri Gh., Assessment of bismuth and T6-heat treatment on the microstructural evolution and tensile properties of SiC nano particle-reinforced Al-Si alloy (LM13), in Persian, Founding Research Journal, 2018, 2(2) 123-134.  
DOI: 10.22034/FRJ.2018.125088.1033

#### \* Corresponding Author:

Gholamreza Ashuri, M.Sc.,  
**Address:** School of Metallurgy and Materials Engineering, University of Tehran,  
P.O. Box 73719-84441, Amirabad, Tehran, Iran. Tel/Fax: +989376486506.  
E-mail: [ashuri224@ut.ac.ir](mailto:ashuri224@ut.ac.ir)



انجمن علمی ریخته‌گری ایران

فصل نامه علمی پژوهشی

## پژوهش نامه ریخته‌گری

### ارزیابی بیسموت و عملیات گرمایی T6، بر فرگشت ریزساختاری و ویژگی‌های تنشی آلیاژ Al-Si (LM13) مستحکم شده با نانو ذره‌های SiC

غلامرضا عاشوری<sup>\*۱</sup>۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه تهران، ایران، [ashuri224@ut.ac.ir](mailto:ashuri224@ut.ac.ir)

#### چکیده:

دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۴

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹

در پژوهش پیش‌رو، کارایش افزودن بیسموت و اجرای عملیات گرمایی T6، بر ریزساختار و ویژه‌گی‌های تنشی آلیاژ پیستون LM13 مستحکم شده با نانوذره‌های SiC بررسی شده است. برای بررسی اثر عملیات گرمایی بر ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک، در آغاز آلیاژها زیر عملیات انحلال و سپس عملیات پیرسازی قرار گرفتند. ریزساختار نمونه‌ها با به‌کارگیری ریزبین نوری و الکترونی روبشی بررسی شدند. بر پایه‌ی دستیافت‌های ریزساختاری، یک درصد وزنی بیسموت شرایط بهینه‌ی ریزساختاری را پدید آورد. همچنین، عملیات گرمایی T6، ریز و کرووی شدن تیغه‌های سیلیسیم یوتکتیک را به‌همراه آورد که پیامد آن به واثرزش (Modification) ریزساختار آلیاژها انجامید. در واقع، افزودن همزمان بیسموت و اجرای عملیات T6 شدت واثرزش ریزساختاری را دوچندان کرد. آزمون تنشی (Tensile) برای اندازه‌گیری تکرار کیفیت (Quality-index)، انجام شد تا بازدهی واثرزش آلیاژهای گوناگون بررسی شود. آزمون تنشی نشان داد که افزودن بیسموت، اجرای عملیات گرمایی، و یا اجرای هم‌زمان این دو کار، به‌دلیل واثرزش ریختار (Morphology) های ناپسند فاز سیلیسیم یوتکتیک، به‌کرد ویژه‌گی‌های تنشی آلیاژ را در پی دارد. کاهش ویژه‌گی‌های تنشی در درصدهای بالاتر بیسموت را می‌توان در پیوند با پیدایش ترکیب‌های پر- بیسموت درشت دانست. شکست‌نگاری نیز نشان داد که با افزودن بیسموت تا یک درصد وزنی، سازوکار شکست از تردی به نرمی می‌گراید. این رخداد را می‌توان در پیوند با کاهش اندازه‌ی تیغه‌های سیلیسیم و در نتیجه افزایش شمار چالک‌ها (Dimples) در سطح شکست آلیاژ دانست.

#### واژه‌های کلیدی:

بیسموت،  
پیرسازی،  
سیلیسیم یوتکتیک،  
تکرار کیفیت،  
شکست‌نگاری.

#### ۱- پیش‌گفتار

آلیاژهای ریخته‌گی پایه آلومینیم-سیلیسیم، دارای ویژه‌گی‌های یکتایی همچون نسبت استحکام به وزن بالا، پایداری در برابر خورده‌گی و ترک داغ خوب، توان‌مندی ریخته‌گری و جوشکاری برجسته، و همچنین، ضریب انبساط یا وابخسش<sup>۱</sup> گرمایی پایین‌اند. با نگرمندی به‌چنین ویژه‌گی‌هایی، این رده آلیاژها کاربردهای گسترده‌ای یافته‌اند. بر پایه‌ی برخی آمارهای باشنده نیز، درصد بسیاری از افزارهای ریخته‌گی آلومینیمی را این آلیاژها در برمی‌گیرند [۱-۳]. به‌هرروی، عنصر یا بنپار سیلیسیم وزن

ویژه‌اش<sup>۲</sup> بسیار نزدیک به آلومینیم است؛ بنابراین، آمیختن این دو عنصر دست‌مایه‌ی افزایش چندان‌ی در وزن ویژه‌ی آلیاژ پایانی نمی‌شود. با این‌همه، افزودن سیلیسیم به آلیاژهای آلومینیم دست‌آویز افزایش شاره‌گی<sup>۳</sup> یا همان سیالیت، افزایش پایداری در برابر پاره‌گی داغ، کاهش انقباض یا بخسش<sup>۴</sup>، و همچنین، به‌کرد شناسه‌های خورانش<sup>۵</sup> آلیاژ می‌گردد [۲-۳]. گفتنی‌ست که آلیاژهای

<sup>۱</sup> Specific weight

<sup>۲</sup> Fluidity

<sup>۳</sup> Contraction

به‌ناهم‌سانی معنایی و مفهومی در ترم‌های «Shrinkage» و «Contraction»، و تنها برابرنهاده‌ی آن، یعنی «انقباض» نگرسته شود.

<sup>۴</sup> Feeding

<sup>۱</sup> Expansion

به‌هنگام عملیات گرمایی به‌آسانی و با شتابی فزاینده از میان رفته و کروی می‌شود [۵-۶].

یکی از جُستارهای نوین در زمینه‌ی سایشِ آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم، بررسیِ روندِ سایشی این آلیاژها در رازمان یا سیستمِ سوده‌شناسیک<sup>۱۰</sup> سیلندر و پیستون خودرو است. به‌گونه‌ای کلی، محل‌های سوده‌شناسیکِ رازمان سیلندر و پیستون را می‌توان به سه منطقه‌ی بنیادین ۱- پرماس<sup>۱۱</sup> پیستون و رینگ پیستون، ۲- پرماسِ رینگ پیستون و سیلندر و ۳- نقطه‌ی پرماس پیستون و انگشتی پیستون دسته‌بندی کرد. همچنین، انبساط یا وابخسش گرمایی پیستون در اثر گرمای ناشی از سوزش<sup>۱۲</sup>، نیز می‌تواند به‌دلیل افزایش اندازه‌ی پیستون، به پرماس میان پیستون و سیلندر و در نتیجه، سایش ناشی از آن کشیده شود [۱۵].

فرتور-۱- شمایی از یک پیستون و محل‌های زیر سایش آن را به‌نمایش گذاشته است. گفتنی است که راهگش<sup>۱۳</sup>‌های گوناگونی برای کاهش چنین سایش‌های زیان‌باری پیشنهاد و پژوهیده شده‌است؛ که از این میان، به روش‌هایی همچون فراروش مالشی-هم‌زن (FSP)، یا افزودن ذره‌های سخت به زمینه‌ی آلیاژ با انگیزه‌ی افزایش پایداری سایشی می‌توان اشاره داشت.

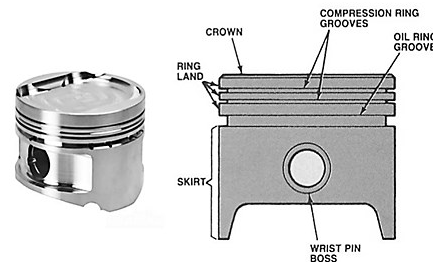
به‌هر روی، در پژوهش پیش‌رو با نگرش به نیازهای صنعت و با انگیزه‌ی افزایش بهره‌وری آلیاژهای پیستون، گونه‌ای آلیاژ LM13 مستحکم شده با نانو-پودرهای SiC، به‌کار گرفته شد تا به‌بررسی چندی‌وچونی کارکردِ عنصر آلیاژی بیسموت، بر ویژه‌گی‌های مکانیکی، و البته گوالش<sup>۱۴</sup> ریزساختاری آن پرداخته شود.

## ۲- مواد و روش پژوهش

در نخستین گام، آلیاژ پیستون LM13 برپایه‌ی استانداردِ بریتانیایی 1490LM13، در یک کوره‌ی مقاومتی با بوت‌های

آپا-یوتکتیک<sup>۱</sup> آلومینیم-سیلیسیم، به‌گونه‌ای تقریبی کم‌تر از ۱۲ درصد سیلیسیم دارند، و آلیاژهای هیپر-یوتکتیک دارای بیش‌تر از ۱۲ درصد سیلیسیم هستند. در کنار سیلیسیم، عنصرهای دیگری چون منیزیم و یا مس نیز به‌شیوه‌ی رواج‌مندی برای به‌کرد ویژه‌گی‌های مکانیکی، به این آلیاژها افزوده می‌شوند. این درحالی است که، برخی عنصرهای آلیاژی یا حتا دُشابی‌هایی همچون آهن، به‌هنگام ریخته‌گری وارد مذاب شده و پیدایش ترکیب‌های اندرفلزی<sup>۲</sup> را در پی دارند.

از دیرباز، رهیافت‌های گوناگونی برای بهبود ریزساختار و به‌ویژه ریختار<sup>۵</sup> ذره‌های سیلیسیم، و به‌دنبال آن بهبود ویژه‌گی‌های مکانیکی آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم پی‌گیری شده است. از سرآمدان این روش‌ها می‌توان به گزینه‌هایی چون افزودن عنصرهای آلیاژی ویژه (واترزش<sup>۶</sup> شیمیایی)، افزایش سرعت انجماد، واترزش گرمایی، و یا فراروند<sup>۷</sup>‌های گرم‌مکانیکی اشاره داشت.



فرتور-۱- شمایی از یک پیستون و محل‌های زیر سایش.

باری، ریختار یا مورفولوژی سیلیسیم یوتکتیک، در حالت سیاه‌تاب<sup>۸</sup> به‌صورت تیغه‌های ناپسندی‌ست؛ با افزودن عنصرهای ویژه‌ای همچون استرانسیم و یا سدیم، این تیغه‌ها به حالت، فیبری‌شکل دگردیسی می‌یابند. ناگفته نماند که به‌گونه‌ای کلی، محل‌های تغییر ساختار، گوشه‌های تیغه‌های سیلیسیم هستند. این ناپایداری‌ها با انجام واترزش شیمیایی افزایش یافته، و بنابراین، یک ساختار واترزیده،

<sup>۱</sup> Essay

<sup>۱۰</sup> Tribological system

<sup>۱۱</sup> Contact

<sup>۱۲</sup> Combustion

<sup>۱۳</sup> Tactic

<sup>۱۴</sup> در بسیاری از بافه (Text)‌های دانشگاهی، برای ترم «Development» از برابرهادی «گسترش» بهره می‌جویند که افسوس‌مندانه، این واژه شخصیت ترم‌شناسیک بسنده‌ای ندارد. چراکه «گسترش» را می‌توان برای ترم‌های بسیاری ترم‌های دیگر همچون «Extension»، «Propagation»، «Deploy»، «Expansive» و دیگرها به‌کار بست. چنین رویکردهایی مابه‌ی از میان رفتن دامنه‌ی معنایی این ترم‌ها می‌شود؛ بنابراین، بخردانه است تا از واژه‌ای درخور بهره گرفته شود. باید افزود که «گوالش» واژه‌ای هستی‌مند در بافه‌های کهن پارسی‌ست.

نه گاه بسودن مر او را نمایش، نه گاه گوالش مر او را گرانی (فرخی)

<sup>۱</sup> Hypo-eutectic

<sup>۲</sup> برابرهادی پیشنهادی ما برای ترم «Impurity»، «دُشابی»‌ست. این واژه از آمیزش پیشوند «دش» و واژه‌ی «تاب» برساخت شده‌است.

<sup>۳</sup> Intermetallic

<sup>۴</sup> Approach

<sup>۵</sup> Morphology

<sup>۶</sup> «پهسازی»، یا «اصلاح»، واژه‌هایی هستند که به‌عنوان برابرهادی برای ترم «Modification» به‌کار می‌روند. این دوازه چندان که باید مناسب نمی‌نمایند.

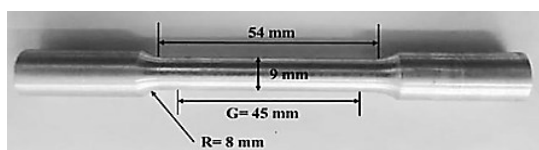
<sup>۷</sup> Process

<sup>۸</sup> As-cast

$C_2Cl_6$  و به مدت پنج دقیقه انجام شد. در ادامه پودرهای SiC به مذاب افزوده شدند و همزن مکانیکی به مدت یک دقیقه مذاب را به گردش درآورد. همچنین، برای اکسایش نیافتن پی‌درپی سطح مذاب هنگام همزدن، از دمیدن گاز نیتروژن بهره برده شد. پودرهای SiC پیش از افزودن به مذاب، در بوت‌های از جنس آلومینا در دمای ۸۰۰ درجه‌سانتی‌گراد و به مدت یک ساعت، عملیات گرمایی شدند؛ در هنگام روند هم‌زدن هم، با لوله‌ای به درون کوره‌ی ذوب راهنمایی گردیدند. شایسته‌ی بیان است که ذره‌های پودری SiC استفاده شده میانگین ۵۰ نانومتر تا ۱۸ میکرومتر داشتند.



فرتور-۲- قالب پایایی به کار گرفته شده در آزمون‌های ریخته‌گری.



فرتور-۳- اندازه‌های استاندارد در نمونه‌های آزمون تنش.

پس از سرباره‌زدایی<sup>۷</sup>، آلیاژهای گوناگون به درون یک قالب پایا<sup>۸</sup> که تا دمای ۲۲۰ درجه‌سانتی‌گراد پیش‌گرم شده بود، ریخته شد (فرتور-۲). دمای بارریزی همه‌ی آلیاژها ۷۵۰ درجه‌سانتی‌گراد در نگر آورده شد و از هر بار ذوب‌ریزی، دو نمونه کشش با اندازه‌های نشان داده در فرتور-۳- تهیه شد. جدول ۲- کاروند<sup>۹</sup>های پژوهیده شده را به نمایش گذاشته است.

عملیات گرمایی T6 با انگیزه‌ی بررسی تغییر ریختار فاز سیلیسیم یوتکتیک و به پیروی از آن، تغییر ویژه‌گی‌های تنش‌ی آلیاژ اجرا شد. بنابراین، نیمی از نمونه‌های ریخته شده، به مدت ۱۰ ساعت در دمای ۵۴۰ درجه‌سانتی‌گراد زیر فراروند گرمایی انحلال یا لوپس‌سازی قرار گرفتند،

گرافیتی و گنجایش پنج کیلوگرم آلومینیم، ساخته شد. برای تنظیم دمای کوره از گرم‌جفت<sup>۱</sup> نوع K استفاده شد. برای بازنهدن<sup>۲</sup> اکسایش عنصرهای آلیاژی به هنگام ذوب، چهار درصد آلومینیم، هشت درصد سیلیسیم و پانزده درصد منیزیم فزون‌برسازمان به مذاب افزوده شد. باید افزود که این درصد منیزیم، کار کمک به افزایش ترشوندگی ذره‌های سرامیکی را هم انجام می‌دهد. ترکیب شیمیایی آلیاژ LM13 فراوری شده در جدول (۱) آورده شده است. در گام سپسین، شمش‌های آغازین برش داده شده و برای بازگذاش<sup>۳</sup>، درون بوت‌های از جنس کاربید سیلیسیم جای داده شدند و در کوره‌ی مقاومتی کوچک‌تری با پرسونش<sup>۴</sup>  $\pm 5$  درجه‌سانتی‌گراد با گنجایش ۵۰۰ گرم آلومینیم، ذوب شدند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم LM13 تهیه شده (درصد وزنی)

Al	Ni	Zn	Mg	Mn	Cu	Fe	Si
پایه	۰/۷	۰/۵	۱/۲	۰/۷	۱/۳	۰/۵	۱۲/۱

جدول ۲- کاروند‌های استفاده شده در این پژوهش

شماره	درصد پودر SiC	درصد بیسموت	نام نمونه
۱	۱/۵ درصد وزنی	۰/۱	A1
۲	۱/۵ درصد وزنی	۰/۳	A2
۳	۱/۵ درصد وزنی	۰/۵	A3
۴	۱/۵ درصد وزنی	۱	A4
۵	۱/۵ درصد وزنی	۳	A5
۶	۱/۵ درصد وزنی	۵	A6

در این میان، پس از خمیری شدن آلیاژ در دمای ۷۸۰ درجه‌سانتی‌گراد، سطح آلیاژ با پوشال<sup>۵</sup> ۱۱ پوشیده شد. اندکی پس از ذوب یکسر آلیاژ، درصدهای گوناگون بیسموت (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) به مذاب افزوده شد. گفتنی است که در این گام، درصد بازنهش بیسموت ده درصد در نگر گرفته شد [۷]. برای دستیابی به آمیزه‌های یکنواخت، مذاب با میله‌ای گرافیتی و به آرامی، به مدت سه دقیقه هم زده شد؛ البته، هم‌زدن به گونه‌ای اجرا شد تا از ورود توژ<sup>۶</sup>های اکسیدی به درون مذاب جلوگیری شود. پس از ده دقیقه، گاززدایی با افزودن ۰/۳ درصد وزنی

<sup>۱</sup> Thermo-couple

<sup>۲</sup> Compensate

<sup>۳</sup> Re-melting

<sup>۴</sup> Precision

<sup>۵</sup> به نابر دلیل‌هایی که در این پانویست نمی‌گنجد، برابر نهاده‌ی «پوشان»، واژه‌ی مناسبی برای ترم «Coverall» نیست؛ از این‌رو، ما واژه‌ی «پوشال» را برای این مفهوم پیش می‌نهیم.

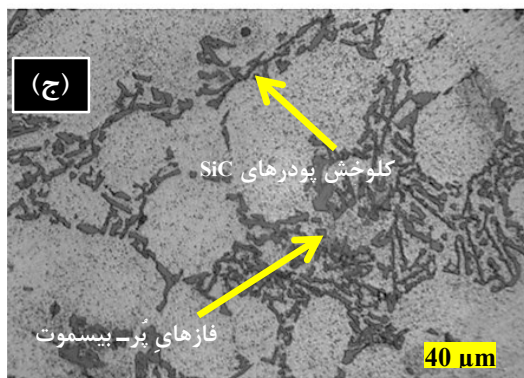
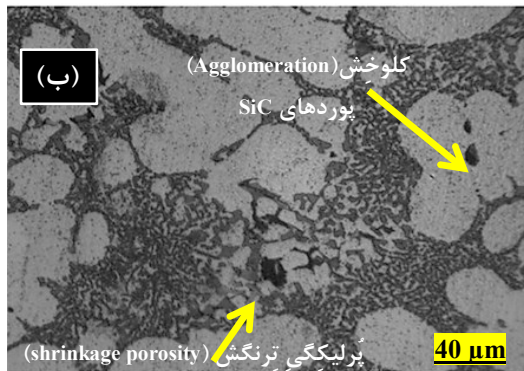
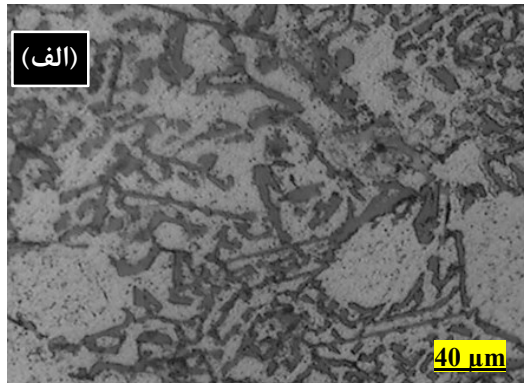
<sup>۶</sup> Film

<sup>۷</sup> Slag removing

<sup>۸</sup> Permanent

<sup>۹</sup> Parameter

شایان پرواست که با نگرش به حضور ذره‌های SiC در این آلیاژ، محل‌های جوانه‌زنی دگرگن<sup>۱۱</sup> افزایش خواهد یافت؛ بنابراین، تیغه‌های سیلیسیم یوتکتیک در آلیاژ LM13-SiC، کوچک‌تر از آلیاژهای LM13 بدون SiC خواهد بود. هنگامی که دمای مذاب با زمانده به‌دمای یوتکتیک رسید، ساختار یوتکتیک دو فازی آلومینیم-سیلیسیم جوانه زده و رشد می‌کند. همچنین، با نگرش به درصد بالای مس، نیکل و یا منیزیم در ترکیب آلیاژ پایه، پنداشته می‌شود که در ساختار درصد چشم‌گیری از رسوب‌های سرشار از این عنصرها پدید آیند.



فرتور ۴- ریزساختار آلیاژهای سیاه‌تاب در درصدهای گوناگون بیسموت، الف) پایه، ب) یک‌درصد، ج) سه‌درصد.

سپس در آب فرونشانی شده، و در دمای ۱۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت شش ساعت پیرسازی شدند. نمونه‌ها به‌کمک HF پنج‌درصد، و کلر (20mlH<sub>2</sub>O+20mlHNO<sub>3</sub>+20mlHCl+5mlHF) سونیده شدند. برای ژرف‌سونش<sup>۱</sup> هم از NaOH بیست‌درصد استفاده شد. نمونه‌های سونیده با ریزین نوری و الکترون‌رویشی دارای آنالوگر<sup>۲</sup> پرتوی ایکس بررسی شدند. برای ارزیابی ویژه‌گی‌های تنشی، نمونه‌های آزمون تنشی برپایه‌ی استاندارد ASTM.B557 ساخته شدند. سرعت حرکت فک‌های دستگاه آزمون تنشی یک میلی‌متر بر دقیقه درنگر آورده شد. برای تعیین درصد درازش<sup>۳</sup> نمونه‌ها، از یک دستگاه اندازه‌گیری استن‌سنج<sup>۴</sup> در هنگام آزمون تنشی استفاده شد. برای ارزیابی سختی نیز از روش سختی‌سنجی برینل با فرورونده‌ی کرومی با قطر ۲/۵ میلی‌متر و نیروی ۶۲/۵ کیلو نیوتن، بهره برده شد.

### ۳- بررسی یافته‌ها

#### ۳-۱- بررسی‌های ریزساختاری

فرتور ۴- ریزساختار سیاه‌تاب<sup>۵</sup> برخی آلیاژها را پس از واترزش نشان می‌دهد. با نگرش به‌نمودار ترازش<sup>۶</sup> فازی آلومینیم-سیلیسیم، ریزساختار آلیاژ پایه، بدین‌گونه پدیدار می‌شود که در آغاز، فاز α-Al جوانه زده و سپس، به‌صورت داردیسی<sup>۷</sup> رشد می‌کند. هنگامی که این داردیس‌ها به‌هم می‌رسند، شاره‌گی یا سیالیت مذاب آلومینیم، تنها در فضاهای آندر- داردیسی<sup>۸</sup> امکان‌پذیر خواهد شد که برای از میان بردن ترنگش<sup>۹</sup>‌های ایجاد شده در اثر واکنش یوتکتیک، می‌باید ذوب تنها در میان داردیس‌ها بماند. همان‌گونه که فرتور ۴-ب) نشان می‌دهد، این رخداد می‌تواند دست‌مایه‌ی پیدایش پرتیکه‌گی ترنگشی<sup>۱۰</sup> شود.

<sup>۱</sup> Deep-etching

<sup>۲</sup> Analyzer

<sup>۳</sup> Elongation

<sup>۴</sup> Extensometer

<sup>۵</sup> As-cast

<sup>۶</sup> Equilibration

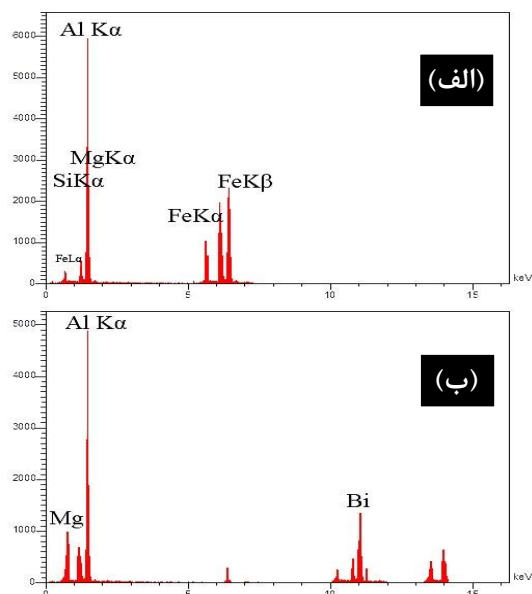
<sup>۷</sup> Dendritic

<sup>۸</sup> Interdendritic

<sup>۹</sup> Shrinkage

<sup>۱۰</sup> «پرتیکه‌گی ترنگش» را ما برای ترم «Shrinkage-Porosity» پیش می‌نهیم. برای ترم «Porosity»، هم‌اکنون از برابر نهاده‌ی «حفرات» یا «تخلخل» استفاده می‌شود. این دو واژه بنا بر بسیاری دلیل‌ها مناسب نیستند، و معنی و مفهوم این ترم را بسی دچار آشفته‌گی می‌کند.

<sup>۱۱</sup> به‌نادرستی در همه‌ی بافه‌های مهندسی مواد، از برابر نهاده‌ی «ساهمکن» برای ترم «Heterogeneous» استفاده می‌شود. اگر این ترم «ساهمکنی» است پس ترم‌های «Inhomogeneous» یا «Nonhomogeneous» چیستند؟!



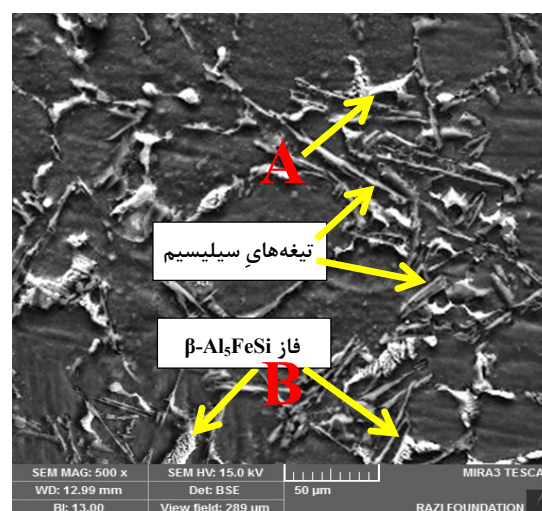
فرتور ۶- آناکافت نقطه‌ای: الف) نقطه‌ی A، ب) نقطه‌ی B از فرتور ۵-

رتور ۶- الف) نیز آناکافت<sup>۳</sup> فازی ترکیب اندر فلزی آهن‌دار در فرتور ۵- را به‌نمایش گذاشته‌است. با نگرش به‌نمودار تراژش آلومینیم- بیسموت [۱۹]، این‌گونه می‌توان برداشت کرد که افزودن بیسموت به آلیاژ LM13-SiC، هیچ‌گونه فاز نوینی را با آلومینیم پدید نمی‌آورد. از این‌رو گمان می‌شود که افزودن بیسموت به آلیاژ پایه، موجب پیدایش فازی چون  $Mg_3Bi_2$  شده باشد؛ همچنین، آناکافت نقطه‌ای فرتور ۶- ب) نیز نشان از پیدایش فاز اندر فلزی دارای بیسموت و منیزیم دارد. پس با نگرش به‌بالا تر بودن دمای پیدایش این فاز (۸۲۱ درجه‌ی سانتی‌گراد) نسبت به تیغه‌های سیلیسیم (۶۰۰-۵۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد)،  $Mg_3Bi_2$  زودتر پدیدار می‌شود.

باری، از آن‌جایی که بیسموت و آنتیموان در گروه پانزدهم جدول دوره‌ای عناصرها جای دارند، باور بر این‌ست که ویژه‌گی‌های شیمیایی همسانی داشته باشند. بنابراین، منطقی به‌نگر می‌آید که بیسموت از راهی مانند آنتیموان ذره‌های سیلیسیم را پالایش کند، درواقع، این گمان هم‌خوان با پژوهش‌چو و لوپر [۱۸] است. از این‌رو توان پالایش‌گی<sup>۴</sup> بیسموت را می‌توان در پیوند با کاهش تنش سطحی<sup>۵</sup> آلیاژهای آلومینیم دانست [۱۶-۱۷]. کاهش تنش سطحی مذاب درون فاز یوتکتیک، می‌تواند زاویه‌ی پرماس میان آلومینیم و سیلیسیم را کاهش داده و در دنباله موجب

باری، آک‌های نشان داده شده در فرتور ۴- ب)، کم‌و- بیش در همه‌ی نمونه‌های ریخته‌گری دیده شد؛ بنابراین، از آوردن فرتورهای بیشتر خودداری شده‌است. اما، همان‌گونه که فرتور ۴- الف) نشان می‌دهد، فاز سیلیسیم در زمینه، سوزنی‌شکل بوده و گمان بر این‌ست که چنین ساختاری، جوانه‌زنی و رشد ترک، و کاهش ویژه‌گی‌های مکانیکی آلیاژ را شدت بخشد. به‌هرروی، با همسنجی میان فرتورهای فلزنگاری<sup>۲</sup>، دریافت می‌شود که افزودن بیسموت کاهش اندازه‌ی تیغه‌های سیلیسیم یوتکتیک را به‌دنبال دارد. اما، افزودن درصد‌های بالای بیسموت (سه‌درصد وزنی)، دیگر تغییر چندانی را در ریختار تیغه‌ها به‌همراه نداشته و ترکیب‌های اندر فلزی پُر- بیسموت به‌صورت درشت در ریزساختار نمایان می‌شوند (فرتور ۵-); پیش‌بینی می‌شود که این ترکیب‌های درشت ویژه‌گی‌های مکانیکی آلیاژ را دستخوش تغییر قرار دهند.

در ریزساختارهای فرتور ۴-، زمینه‌ی روشن فاز آلومینیم  $\alpha$ ، و ناحیه‌های تیره‌تر فاز سیلیسیم یوتکتیک هستند. ازسوی دیگر، در فرتور الکترون‌های برگشتی از نمونه‌ی دارای پنج درصد بیسموت در فرتور ۵-، زمینه‌ی تیره‌تر، فاز آلومینیم  $\alpha$ ، و ناحیه‌های خاکستری‌رنگ تیغه‌های فاز سیلیسیم یوتکتیک هستند. با نگرش به‌حضور عنصرهایی چون آهن یا منگنز در ترکیب شیمیایی آلیاژ پایه، پیدایش فازهای گوناگونی چون  $\beta-Al_5FeSi$ ،  $Al_{12}(Fe,Mn)_3Si$ ،  $Al_6(Fe,Mn)$ ،  $Al_3Fe$  انتظار می‌رود.



فرتور ۵- ریزساختار سیاه‌تاب نمونه‌ی دارای پنج درصد بیسموت.

<sup>۳</sup> Analysis

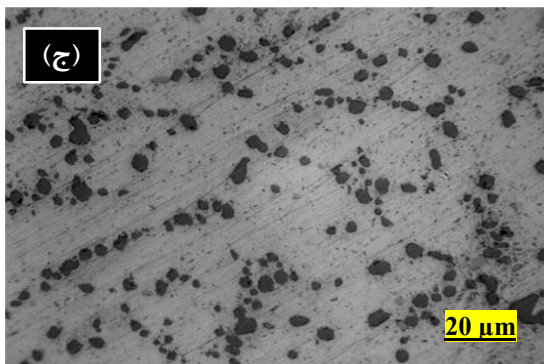
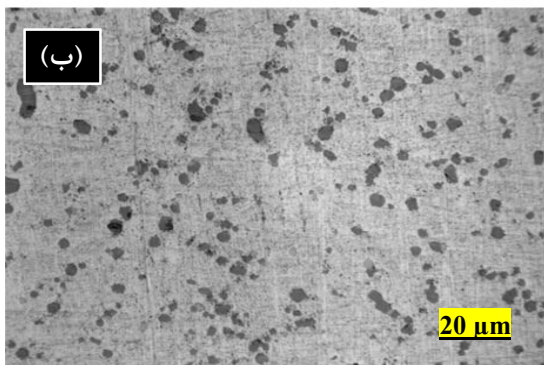
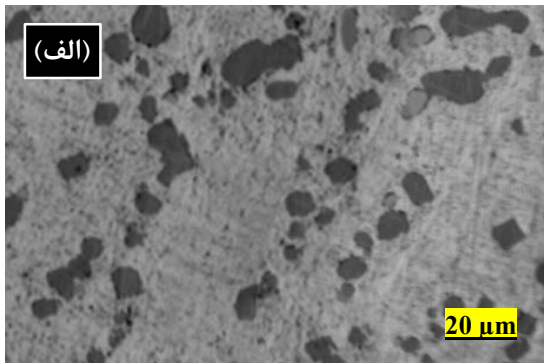
<sup>۴</sup> Refining

<sup>۵</sup> «تنش سطحی» برابر نهاده‌ی درخوری برای «Surface Tension» می‌باشد.

<sup>۱</sup> Defect

<sup>۲</sup> Metallography

می‌شود. از این‌رو، اجرای عملیات گرمایی بر روی آلیاژها، موجب افزایش سطح ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک موجود در ریزساختار می‌شود.



فرتور ۷- آلیاژهای سیاه‌تاب LM13-SiC پس از عملیات گرمایی در درصد‌های گوناگون بیسموت، (الف) پایه، (ب) یک درصد، (ج) سه درصد.

در این‌جا نیز مانند آنچه درباره‌ی نمونه‌های عملیات گرمایی نشده نشان داده شد، با افزودن بیسموت تا یک درصد وزنی، کاهش اندازه‌ی ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک به‌دست می‌آید. با سنجش کیفی کاهش اندازه‌ی ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک در اثر افزودن یک درصد وزنی بیسموت، می‌توان نتیجه گرفت که اجرای همزمان عملیات گرمایی و افزودن بیسموت به آلیاژ، تا اندازه‌ای بر اثربخشی روند گوالش<sup>۸</sup>

شود تا آلومینیم بتواند با آسانی هرچه‌بیشتر فاز سیلیسیم را تر<sup>۱</sup> کند و پیشانی<sup>۲</sup> رشد سیلیسیم را دربرگیرد. شایسته‌ی بیان است که سازوکار رشد جامدهای خالص، به چگونگی فصل‌مشترک‌شان وابسته است. فلزسان‌هایی<sup>۳</sup> چون سیلیسیم، در حالت واثرزیش نشده، فصل‌مشرکی نرم یا هموار دارند [۹-۱۰]؛ در این‌گونه فصل‌مشترک‌ها، پیوستن اتم‌ها از فاز مذاب به‌فاز جامد، به‌گونه‌ای رایج در یک لایه‌ی اتمی رخ داده یا به‌بیانی دیگر، جابه‌جایی اتم‌ها از مذاب به جامد از راه یک منطقه‌ی عبوری با ضخامت یک لایه‌ی اتمی صورت می‌پذیرد. چنین فصل‌مشترک‌هایی در مرپل<sup>۴</sup> اتمی هموار، ولی در مرپل‌های بزرگ‌تر، زیر یا ناهموار گزارش شده‌است. در فصل‌مشترک همواره میزان تغییر ساختار اتمی و یا نظم اتمی از فاز جامد به مذاب، بسیار زیاد است. نمود این مطلب، تغییر درگاشت<sup>۵</sup> ذوب بالای آن‌ست. بر این اساس پیوستن اتم‌ها از فاز مذاب به فاز جامد به‌آسانی امکان‌پذیر نیست [۱۱].

فرتور ۷- فرتور ریزبین نوری از ریزساختار آلیاژهای واثرزیش شده را پس از عملیات گرمایی نشان می‌دهد. به‌سادگی می‌توان دریافت که ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک، به‌صورت تقریبی، کروی شده و نسبت طول به‌عرض آن‌ها کاهش یافته و به‌هم نزدیک شده‌اند. با نگرش به نمودار فازی منیزیم-بیسموت [۱۹] می‌توان نتیجه گرفت اجرای عملیات گرمایی موجب افزایش والویش<sup>۶</sup> یا انحلال اتم‌های بیسموت در زمینه Al- $\alpha$  با سازوکار لویش<sup>۶</sup> جانشین می‌شود. همچنین، در هنگام عملیات گرمایی، دمایی بالا موجب واپخش<sup>۷</sup> اتم‌های سیلیسیم از درون ترکیب سیلیسیم یوتکتیک به‌زمینه می‌شود. به‌دلیل واپخش بیشتر اتم‌ها از لبه‌ی تیغه‌ها، تیزی نوک این تیغه‌ها کاهش یافته و ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک کروی و اندازه‌ی آن‌ها کوچک‌تر

<sup>۱</sup> Wet

<sup>۲</sup> Front

<sup>۳</sup> واژه‌ی «Metalloid» از آمیزش «Metal» و پسوند «-oid» به‌معنی «Like» و «Resembling» پدید آمده‌است.

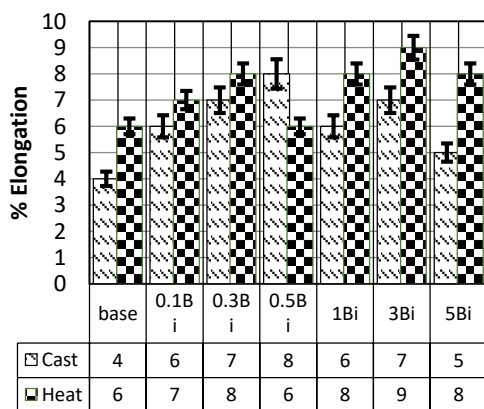
<sup>۴</sup> Scale

<sup>۵</sup> Entropy

<sup>۶</sup> Dissolution

<sup>۷</sup> سالیان بسیاری‌ست که در بافه‌های ماده‌شناسی ترم «Diffusion» را «نفوذ» ترجمان کرده‌اند، بی‌آنکه از دیدگاه مفهومی به این واژه نگریسته شود. باری، اگر «Diffusion» نفوذ است پس «Penetration» یا «Permeation» چیستند؟! اگرهم بنا را بر قرارداد بگذاریم، وحتى «Diffusion» نفوذ باشد پس می‌باید Diffusivity نفوذپذیری باشد؛ حال در این میان، Penetrability و Permeability چیستند؟! بنابراین، بخردانه به‌نگر می‌رسد که برابرنهاده‌ی درخور برای این چند واژه برگزیده شود.

<sup>۸</sup> Development



فرتور ۹- درصد درازش نمونه‌های آلیاژی LM13-SiC.

عملیات گرمایی نیز به خوبی موجب افزایش استحکام‌های تنش‌ی شده‌است. چراکه ذره‌های تیغه‌ای سیلیسیم جاهای مناسبی برای تمرکز استرس<sup>۲</sup> و شکست پرشتاب هستند؛ ولی، با افزایش کرویت این ذره‌ها پس از عملیات T6، امکانی فراهم می‌شود که به هنگام اعمال نیرو، افزار در برابر استرس‌های بیشتری تاب آورده تا وادیسش<sup>۳</sup> بیشتری را پیش از شکست داشته باشد. درصد درازش (El.%) آلیاژهای ریخته شده در فرتور ۹- نشان داده شده‌است. همان گونه که دیده می‌شود، این فرتور بیان گر افزایش درصد درازش طول آلیاژها در اثر افزودن بیسموت است؛ و روند تغییرات در حالت سیاه‌تاب مانند نمونه‌های پس از عملیات گرمایی است. بالا رفتن استحکام به همراه افزایش درصد درازش طول، بی گمان دست‌آویز افزایش چقرمگی آلیاژ پایه می‌شود.

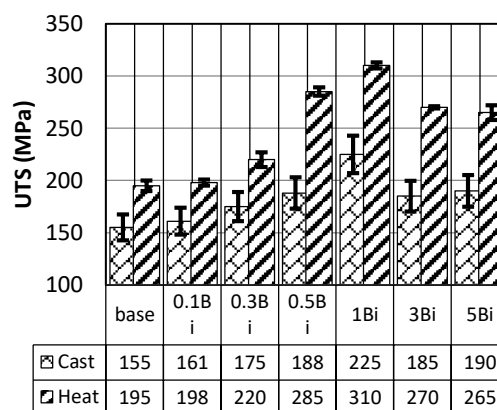
افزایش درازش طول آلیاژها پس از عملیات گرمایی را می‌توان با نگرش به پژوهش‌های مارتین و دوهرتری<sup>۴</sup> [۱۲] باز نمود کرد. برپایه بررسی‌های این پژوهش‌گران، قرارگیری ساختار یوتکتیک در دماهای بالا به هنگام لویش‌سازی، موجب تغییرشکل یا وادیسش<sup>۴</sup> ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک می‌شود. این وادیسش تاجایی دنبال می‌شود که ذره‌های سیلیسیم به شماری ذره‌های ریز و کروی تبدیل شوند. پیدایش چنین ناپایداری سطحی‌ای در ذره‌های سیلیسیم با ریختار تنکه‌ای<sup>۵</sup> درشت، که در سرعت‌های سرمایش پایین پدید می‌آیند، اندکی دشوار بوده و به صورت کامل رخ نمی‌دهد. در حالی که در نمونه‌های با

ریزساختاری می‌افزاید. درحقیقت، با افزودن بیسموت و عملیات گرمایی، ذره‌های سیلیسیم یوتکتیک از حالت تنکه‌ای<sup>۱</sup> درشت، به تیغه‌های ریز و کوتاه‌تر تبدیل شده و ذره‌های ریزتر سیلیسیم در هنگام عملیات لویش‌سازی یا محلول‌سازی به مراتب آسان‌تر خرد و کروی می‌شوند.

### ۲-۳- بررسی ویژه‌گی‌های مکانیکی

#### الف- ویژه‌گی‌های تنشی (Tensile)

داده‌های به دست آمده از بررسی‌های استحکام تنش‌ی فرجامین (UTS)، در فرتور ۸- به نمایش گذاشته شده‌است. این فرتور نشان‌دهنده‌ی افزایش استحکام تنش‌ی در اثر افزودن بیسموت تا یک درصد وزنی است. بی‌گمان، دلیل این افزایش استحکام را باید در دگردیسی ریختار ذره‌های سیلیسیم جست. با این همه، افزایش بیشتر بیسموت، استحکام تنش‌ی را کاهش داده است. دلیل این کاهش را هم می‌توان به پیدایش و رسوب ترکیب‌های اندرقلزی پُر-بیسموت پیوند داد. چراکه پیدایش ترکیب‌های اندرقلزی با تیغه‌های درشت، دست‌آویز تمرکز استرس می‌شوند و از میزان اثربخشی بیسموت می‌کاهند. چنان که در فرتورهای ریزساختاری هم نشان داده شد (فرتورهای ۴- و ۵-)، این ترکیب‌ها که بیشتر در ناحیه‌های مرزخانه‌ای و آندرداردیسی جای گرفته‌اند، با ریختار نامناسب‌شان می‌توانند کنش گر مهمی در کاهش ویژه‌گی‌های تنش‌ی به شمار آیند.



فرتور ۸- استحکام تنش‌ی پایانی در نمونه‌های آلیاژی LM13-SiC.

<sup>۱</sup> Stress

<sup>۲</sup> Martin and Doherty

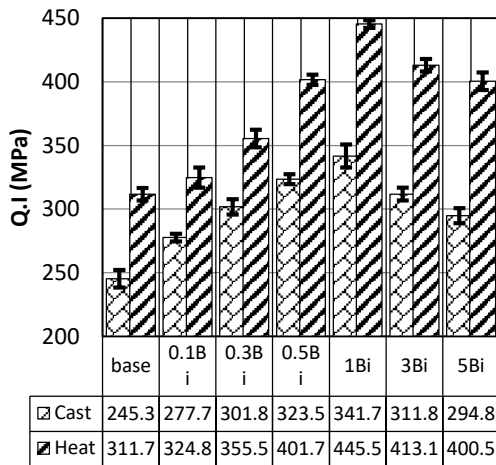
<sup>۳</sup> Deformation

<sup>۴</sup> Lamellar morphology

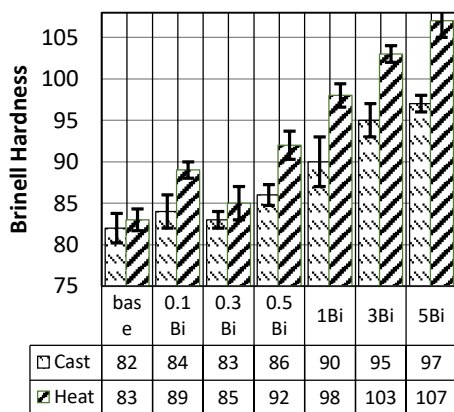
<sup>۵</sup> Lamellar



همزمان استحکام تنشی و درازش طول، در اثر عملیات گرمایی در همه‌ی درصد‌های بیسموت، تکرار کیفیت هم پس از عملیات گرمایی به‌اندازه‌ی چشم‌گیری افزایش یافته است.



فرتور ۱۰- تکرار کیفیت در نمونه‌های آلیاژی LM13-SiC



فرتور ۱۱- تغییرات سختی در نمونه‌های آلیاژی LM13-SiC

### ج- سختی‌سنجی

داده‌های به‌دست آمده از سختی‌سنجی در فرتور-۱۱- به‌نمایش گذاشته شده‌است. با اندکی ژرف‌بینی، این‌گونه می‌توان برداشت کرد که افزودن بیسموت، افزایش فزاینده‌ی سختی را در پی داشته‌است. همچنین، سختی به‌دست آمده از نمونه‌های آلیاژی پس از T6، میزان بالاتری را نشان می‌دهد. با نگرمندی به این که سختی، سنج‌های از وادیسش شُکاییک<sup>۶</sup> به‌شمار می‌آید، همه‌ی این تغییرها به‌گونه‌ای تقریبی هم‌خوان با تغییرات داده‌های آزمون تنشی‌اند که در بخش پیشین بدان پرداخته شد.

سَکَنج-نازک<sup>۱</sup>، از آن‌جایی که طول تیغه‌های سیلیسیم و آترزش نشده و نیز فاصله‌های واپخش یا دیفیوژن به‌اندازه کافی کوتاه است، شکستن و کروی شدن ذره‌ها آسان‌تر است. در نتیجه، پس از گام لویش‌سازی، اندازه‌ی ذره‌های سیلیسیم به‌اندازه‌ی کوچک و میزان کرویّت آن‌ها تا حدی بالاست که حتی ممکن‌ست بتواند بر اثر پیدایش رسوب‌های سخت در گام پیرسازی، غلبه کند و جلوی کاهش مدّابندی<sup>۲</sup> را بگیرد.

ب- کارایش بیسموت و عملیات گرمایی، بر تکرار کیفیت برای ارزیابی داده‌های آزمون تنشی، از سنج‌های تکرار کیفیت<sup>۳</sup> (Q.I.) که دربردارنده‌ی همزمان استحکام و مدّابندی آلیاژست، بر پایه‌ی دیسول<sup>۴</sup>، (۱) استفاده شد.

$$Q.I. = UTS + a \times \text{Log}(\text{elongation}) \quad (1)$$

در این دیسول، a عددی‌ست ثابت و به‌گونه‌ی آلیاژ وابسته است. برخی پژوهش‌ها [۱۳-۱۴] نشان می‌دهند که مقدار این ثابت برای آلیاژهای Al-Si-Mg، نزدیک به ۱۵۰ است. تغییرات تکرار کیفیت، وابسته به درصد افزایش بیسموت پیش و پس از عملیات گرمایی، در فرتور ۱۱- آورده شده‌است. با نگرش به این نمودار، افزودن بیسموت تا یک درصد وزنی به آلیاژهای سیاه‌تاب، منجر به به‌کرد چشم‌گیر تکرار کیفیت نسبت به آلیاژ پایه می‌شود. همچنین، میزان بهبود این کارونده در حالتی که از بیسموت و عملیات گرمایی به‌صورت همزمان استفاده شده، بیشتر بوده که این رخداد نشان از کارکرد مثبت بیسموت بر توان عملیات گرمایی‌پذیری آلیاژها دارد. با نگرش به افزایش

<sup>۱</sup> Thin-section

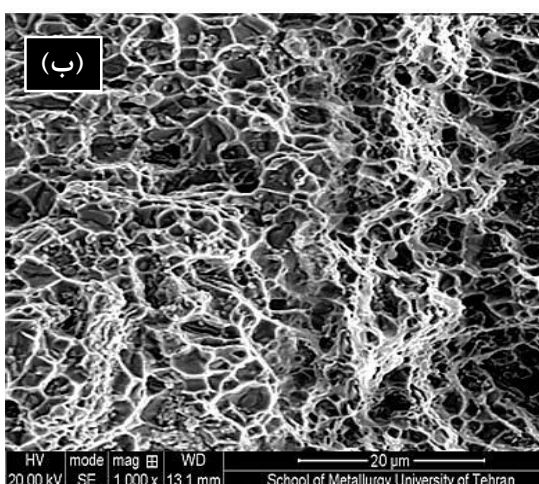
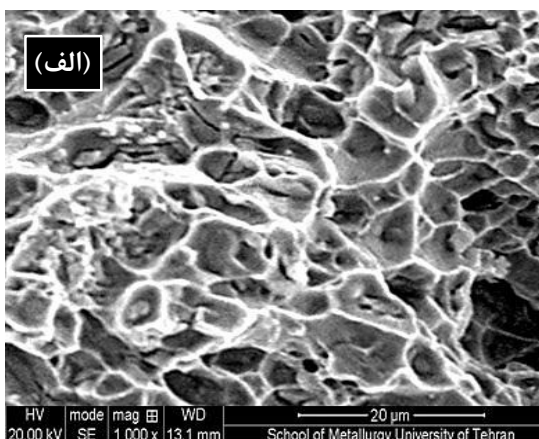
<sup>۲</sup> پیرامون ترجمان ترم «Ductility» و چند ترم دیگر با بافتار معنایی نزدیک به آن، یعنی «Formability»، «Flexibility»، «Plasticity» چندان که باید نگرمندی دانشی نشده‌است. برای نمونه، حتی گفته می‌شود «شکل‌پذیری»، گمان نکنیم در ذهن کارآموز زبانی فلزشناس، چندان جدای‌مندی مشخصی میان ترم‌های «Ductility» و «Formability» ایجاد شود. از این‌رو در برخی بافته‌ها از برابرنهاده‌ی «انعطاف‌پذیری» بهره می‌جویند، بی‌آنکه به ترم دیگری همچون «Flexibility»، و البته دگرسانی مفهومی آن نگرسته شود. گفتنی‌ست که برابرنهاده‌ی «موم‌سان» نیز برای «Plasticity»، بنا بر دلیل‌هایی که در این پانوشتم نمی‌گنجد، بسیار نارسا و نامناسب است. باری، ما برابرنهاده‌ی «مدّابندی» را برای ترم «Ductility» پیش می‌نهیم. پُروشن‌ست که در این پانوشتم مجال پرداختن به جزئیات بیشتری را نداریم.

<sup>۳</sup> ما برابرنهاده‌ی «تکرار کیفیت» را برای ترم «Quality Index» پیش می‌نهیم. برابرهایی که پیشتر برای «Index» استفاده می‌شده‌است چندان که باید رساننده‌ی مفهوم مورد نگر ما نیستند.

<sup>۴</sup> Formula

<sup>۵</sup> Parameter

<sup>۶</sup> Plastic-deformation

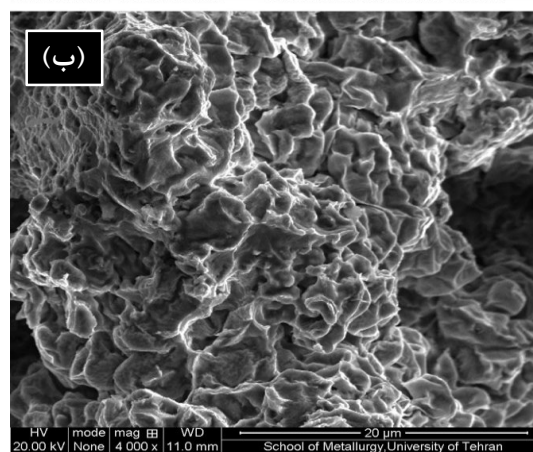
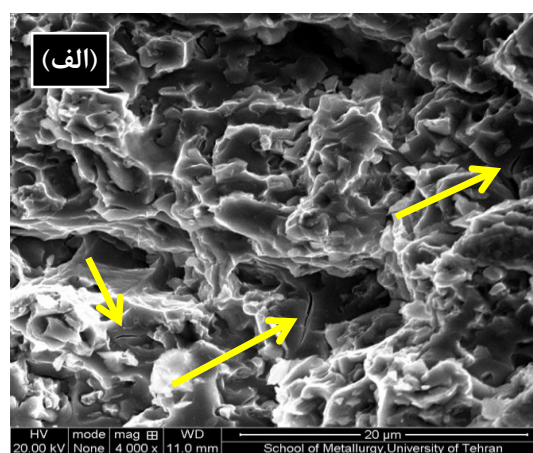


فرتور ۱۳- فرتور شکست‌نگاری از نمونه‌های آلیاژی LM13-SiC پس از عملیات گرمایی، (الف) پایه، (ب) یک درصد بیسموت.

باری، فرتورهای-۱۲- و -۱۳- شکست‌نگاری از آلیاژهای پایه و آلیاژ دارای یک درصد بیسموت را پیش و پس از عملیات گرمایی نشان می‌دهند. در فرتور-۱۲- (الف) تیغه‌های شکسته‌ی سیلیسیم در برخی کناره‌ها با نشان پیکان مشخص شده‌است. شایسته‌ی بیان است که پژوهش‌های بسیاری پیرامون بررسی کارکرد سیلیسیم بر استحکام تنشی آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم انجام شده‌است؛ بیشتر این بررسی‌ها برآنند که در حالت کلی، شکست آلیاژهای آلومینیم-سیلیسیم در سه گام رخ می‌دهد. در آغاز، شماری از ذره‌های سیلیسیم در کرنش‌های کم (نزدیک به ۱ تا ۲ درصد) می‌شکنند. پس‌از آن، گسترش ذره‌های ترک‌یافته پیدایش بندهای برشی<sup>۲</sup> را در پی خواهند داشت که این رویداد پیدایش ریزترک‌ها را به‌همراه دارد. در پایان، ریزترک‌ها به‌هم پیوسته و شکست پایانی رخ می‌دهد [۲۱].

### ۳-۳- شکست‌نگاری

به‌هنگام آزمون تنش، استرس<sup>۱</sup> موجب وادیشش شکاییک زمینه‌ی آلومینیمی می‌شود؛ در پی این پیشامد استرس از زمینه به‌ذره‌های گوناگون همچون ذره‌های سیلیسیم جابه‌جا می‌شود. پیامد این رخداد، شکست ذره‌های تردست. دست‌آوردهای پژوهشی گوناگون، نشان می‌دهند که شکست ذره‌ها به‌ندرت پیش از آغاز تسلیم روی داده و بیشتر، پس از ایجاد تغییرشکل یا وادیشش شکاییک صورت می‌پذیرند. همچنین، با افزایش کرنش، شمار ذره‌های شکسته نیز افزایش می‌یابد [۲۰-۲۴].



فرتور ۱۲- فرتور شکست‌نگاری از نمونه‌های آلیاژی LM13-SiC پیش از عملیات گرمایی، (الف) پایه، (ب) یک درصد بیسموت.

<sup>۲</sup> Shear Band

<sup>۱</sup> Stress

بیسموت است. همچنین، عملیات گرمایی T6 موجب بهکرد دوچندان ویژه‌گی‌های تنش‌ی آلیاژ می‌شود. ۵- بررسی تغییرات تکرار کیفیت نشان می‌دهد که افزودن بیسموت تا مقدار بهینه‌ی آن بهبود ویژه‌گی‌های مکانیکی را به‌دنبال داشته، حال آن‌که درصدهای بالاتر کارایی پسندیده‌ای ندارد. تکرار کیفیت با طول، سطح و نسبت طول به عرض فاز سیلیسیم یوتکتیک نسبت وارون دارد. در حقیقت، افزایش هر یک از این کاروندهای ریزساختاری موجب کاهش ویژه‌گی‌های تنش‌ی آلیاژ می‌شود.

### سیاس‌گذاری و ارج‌دانی

نویسنده‌ی این پژوهش، بر خویشتن بایسته می‌داند تا از استادان نادیده‌ی خویش، اندیشه‌کاران به‌نام، میرشمس‌الدین ادیب‌سلطانی و محمد حیدری ملایری، فرازمنده‌ی سیاس را به‌جای آورد.

### بازبردها (References)

- [1] Gruzleski J.E., Closset B.M., The treatment of liquid Al-Si alloy, Internal Report, the AFS Inc., 1990, 13-21.
- [2] Polmear I.J., Light Alloys: Aluminium, Magnesium and Titanium, 2<sup>nd</sup> Ed., Routledge, Chapman and Hall Inc., New York, 1989, 18-169.
- [3] Casting, Metals Handbook, 9<sup>th</sup> Edition, American Society for Metals Park, Ohio, Volume 15, 2005, 327-338.
- [4] Hegde S., Prabhu K.N., Modification of eutectic silicon in Al-Si alloys, Journal of Materials Science, 2008, 43, 3009-3027.
- [5] Colley L.J., Microstructure-property models for heat treatment of A356 aluminum alloy, Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2011.
- [6] ASM Handbook; Aluminum and Aluminum Alloys, 1993, 3<sup>rd</sup> Ed., 88-91.
- [7] Okatoma H., Al-Ni phase diagram, Journal of Phase Equilibria, 1993, 14(2) 257-259.
- [8] Zhang J., Fan Z., Wang Y.Q., Zhou B.L., Microstructural development of Al-15wt. %Mg<sub>2</sub>Si in situ composite with mischmetal addition, Journal of Materials Science and Engineering A, 2000, 281, 104-112.
- [9] Shamsuzzoha M., Hogan L.M., Crystal morphology of massive eutectic silicon in unmodified Al-Si eutectic, Cast Metals, 1989, 22, 37-45.
- [10] Kurz W., Fisher J.D., Fundamentals of Solidification, 9<sup>th</sup> Ed., Trans. Tech. Publication, 1984, 34-43.
- [11] Sjölander E., Seifeddine S., The heat treatment of Al-Si-Cu-Mg casting alloys, Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210, 1249-1259.
- [12] Shabestari S.G., Ghanbari M., Effect of plastic deformation and semisolid forming on iron-manganese rich intermetallics in Al-8Si-3Cu-4Fe-2Mn alloy,

در حالی که ذره‌های ترد سیلیسیم به‌صورت رخ‌برگی<sup>۱</sup> شکسته یا دچار جدایش می‌شوند، در زمینه آلومینیمی کرنش شکاییک یا پلاستیک رخ می‌دهد. این کرنش با جوانه‌زنی ریزحفره‌ها همراه است. در اثر اعمال استرس، ریزحفره‌ها رشد کرده و در سطح‌های شکست به‌صورت چالک<sup>۲</sup> دیده خواهند شد [۲۱].

در فرتور-۱۳- سطح شکست نمونه‌ها پس از عملیات گرمایی نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که بررسی‌های ریزساختاری نشان داد، اجرای عملیات گرمایی T6، کرویت ذره‌های سیلیسیم را افزایش داد و البته، با افزودن بیسموت ذره‌های سیلیسیم ریزتر شدند؛ بنابراین، با کاهش اندازه‌ی ذره‌ها به استرس بیشتری برای شکستن آن‌ها نیازست. این تغییرات را در فرتور-۱۳-ب) به‌خوبی می‌توان دید. درواقع، گرچه همه‌ی نمونه‌ها آمیزه‌ای از شکست ترد و نرم با غلبه مشخصه‌های شکست ترد را نشان می‌دهند، در نمونه‌های عملیات گرمایی شده به‌دلیل ریزتر شدن ذره‌ها، شکست تا اندازه‌ی بسیاری نرم‌تر شده، و همچنین چالک‌های بیشتری نمایان می‌شود که این پدیده نشان‌دهنده‌ی کرنش بیشتر زمینه است.

### ۴- نتیجه‌گیری

- ۱- افزودن بیسموت به آلیاژ LM13-SiC موجب کاهش طول، سطح، و نسبت طول به عرض تیغه‌های سیلیسیم یوتکتیک می‌شود. همچنین، مقدار بهینه‌ی بیسموت برای واثرز ریزساختار، یک درصد وزنی به‌دست آمد.
- ۲- اجرای عملیات گرمایی T6 بر روی آلیاژ LM13-SiC موجب کروی شدن تیغه‌های سیلیسیم یوتکتیک شده، و از این راه به واثرز ریزساختار آلیاژ می‌انجامد.
- ۳- اجرای عملیات گرمایی T6 بر نمونه‌های دارای بیسموت، اثربخشی دوچندان بر روند واثرز ریزساختار یوتکتیکی دارد.
- ۴- افزودن بیسموت، بهکرد استحکام تنش‌ی (UTS) و درازش طول آلیاژهای LM13-SiC را در پی دارد. بیشترین مقدار استحکام تنش‌ی، مدایدی و یا همان داکتیلیتی مربوط به آلیاژ دارای یک درصد وزنی

<sup>۱</sup> Cleavage

<sup>۲</sup> Micro-void

<sup>۳</sup> Dimple

۹- میرشمس‌الدین ادیب‌سلطانی، راهنمای آماده ساختن کتاب، تهران، ۱۳۶۵.

### توضیح مدیر مسئول:

آنچه در این مقاله بیش از پیش نمایان است، تلاش ارزشمند نویسندگان مقاله بر استفاده صحیح از ادبیات و واژه‌های فارسی در مقاله و معرفی جایگزین‌های جدید مناسب (برابرنهاده‌ای درخور) فارسی برای برخی واژه‌های (ترم‌های) تخصصی است. مدیریت مجله از این تلاش ارزشمند قدردانی می‌کند.

نویسندگان بر اساس مطالعات خود در ادبیات فارسی، جایگزین‌هایی را برای واژه‌های تخصصی در ریشه مهندسی مواد ارائه کرده است که می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. بنا بر پیشنهاد سردبیر محترم با انتشار این مقاله در این شماره با کمترین تغییرات ویرایشی موافقت شده است. این موافقت، دلیل بر درستی کامل واژه‌های پیشنهادی نیست. بلکه ارزش‌گذاری بر تلاش انجام شده توسط نویسندگان محترم است تا مسیر نوآوری در واژه‌گزینی در حوزه مهندسی مواد و ریخته‌گری روشن‌تر شود. فراگیر شدن واژه‌های پیشنهادی به انتخاب صحیح آنها و سپس پذیرش متخصصان جامعه دارد.

امید است خوانندگان گرامی، نقطه نظرات ارزشمند خود را به مجله ارسال نمایند.

- Journal of Alloys and Compounds, 2010, 508, 315-319.
- [13] Martin J.W., Doherty R.D. Stability of microstructure in metallic systems, 2<sup>nd</sup> Ed., Cambridge University Press, 1997.
- [14] Alexopoulos N.D., Pantelakis S.G., Evaluation of the effects of variations in chemical composition on the quality of Al-Si-Mg, Al-Cu, and Al-Zn-Mg cast aluminum alloys, Journal of Materials Engineering and Performance, 2003, 12, 196-205.
- [15] Kiencke U., Nielsen L., Automotive control systems: for engine, driveline, and vehicle, Meas. Sci. Technol., 2000, 11(12) 18-28.
- [16] Kurdyumov A.V., Inkin S.V., Influence of bismuth and antimony on the structure and surface tension of alloy Al2, Journal of Liteinoe Proizvodstvo, 1986, 6, 28-29.
- [17] Papworth A, Fox P, The disruption of oxide defects within aluminium alloy castings by the addition of bismuth, Journal of Materials and Letters, 1998, 15, 202-206.
- [18] Cho J.I., Loper C.R., Limitation of bismuth residual in A356.2 Al, AFS Trans, 2000, 108, 359-367.
- [19] MacAlister A.J., The Al-Bi system, Bulletin of Alloy Phase Diagrams, 1984, 5(3) 247.
- [20] Amerioon A., Emamy M., Ashuri Gh., Investigation the effect of Al-5Ti-1B grain refiner and T6 heat treatment on tensile properties of Al-8%Mg, Procedia Materials Science, 2015, 11, 32-37.
- [21] Yeh J. W., Liu W.P., The cracking mechanism of alloy particles in an A357 aluminum alloy, Metallurgical Transactions A, 1996, 27, 3558-3568.
- [22] Mazahery A., Ostad Shabani M., Plasticity and microstructure of A356 matrix nano composites, Journal of King Saud University- Engineering Sciences, 2013, 25(1) 41-48.
- [23] Hosseiny H., Emamy M., Ashuri G., Effect of Al-15Zr master alloy and extrusion process on microstructure and mechanical properties of Al-6%Mg alloy, Procedia Materials Science, 2015, 11, 438-443.
- [24] Garcia-Garcia G., Espinoza-Cuadra J., Mancha-Molinari H., Copper content and cooling rate effects over second phase particles behaviour in industrial aluminum-silicon alloy 319, Materials and Design, 2007, 28, 428-433.

### بازبردهای دیگر

- 1- D. N. Mackenzi, A concise Pahlavi dictionary, London, 1971.
- 2- Henrik Samuel Nyberg, a Manual of Pahlavi, 1974.
- ۳- محمدحسین بن‌خلف تبریزی، برهان قاطع، تصحیح دکتر محمد معین، تهران، ۱۳۴۲.
- ۴- علی‌اکبردهخدا، لغت‌نامه‌ی دهخدا.
- ۵- پرویز ناتل خانلری، تاریخ زبان فارسی، تهران، ۱۳۴۸.
- ۶- محمود حسابی، فرهنگ حسابی، ۱۳۷۲.
- ۷- پاول هرن، هاینریش هوبشمان، فرهنگ ریشه‌شناسی فارسی، برگرداننده جلال خالقی مطلق، ۱۳۹۳.
- ۸- محمد حیدری ملایری، فرهنگ ریشه‌شناختی اخترشناسی و اخترفیزیک، ۱۳۸۴.