بررسی خواص فشاری فوم آلومینیومی سلول بسته

مصطفی ملک جعفریان[۱] ، سید خطیب الاسلام صدر نژاد[۲] ،مسعود گلستانی پور[۳] ،محمد صادق ابروی[۴]

چکیده

در این پژوهش به بررسی اثر ذرات استحکام بخش SiC و عامل فوم ساز $CaCO_3$ بر روی رفتار فشاری فوم های آلومینیوم تولید شده به روش ذوبی پرداخته شده است . به منظور بررسی رفتار فشاری فوم های آلومینیوم ، تست فشار تک محور طبق استاندارد DIN 50134 نمونه ها تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. اثر پارامترهای مکانیکی نظیر استحکام تسلیم فشاری ، استحکام فشاری نهایی ، وتنش فشاری مسطح تحت مقادیر مختلف ذرات سرامیک SiC و کربنات کلسیم مورد بررسی قرار گرفت . بررسی ها نشان دادند در یک دانسیته برابر از فوم کامپوزیتی AlSi7Mg/SiCp تنش تسلیم و تنش فشاری مسطح فوم کامپوزیتی با افزایش حجم ذرات SiC افزایش می یابد . همچنین با افزایش درصد کربنات کلسیم میزان درصد تخلخل افزایش پیدا کرده که در نتیجه باعث کاهش تنش تسلیم و تنش فشاری مسطح فوم آلومینیوم می شود .

واژه‌های کلیدی: فوم آلومینیوم ، سلول بسته ، خواص فشاری ، کاربید سیلیسیم ، کربنات کلسیم

---

۱ – دانشجوی کارشناسی ارشد – دانشکده مهندسی و علم مواد – دانشگاه صنعتی شریف – خیابان آزادی – تهران – ایران – صندوق پستی ۹۴۶۶ -۱۱۱۵۵ (malekjafarian@mehr.sharif.ir)

۲ – استاد دانشکده مهندسی و علم مواد – دانشگاه صنعتی شریف

۳ – دانشجوی دکترای مهندسی مواد دانشگاه فردوسی مشهد– عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی واحد مشهد

۴ – کارشناس مهندسی مواد– عضو گروه پژوهشی مواد جهاد دانشگاهی واحد مشهد

۱. مقدمه:

مواد فومی خانواده‌ای از مواد نوین به شمار می‌روند که با توجه به ویژگیهای منحصر بـه فـرد، مـورد توجه ویژه قرار گرفته اند . از جمله ویژگیهای مذکور داشتن نسبت استحکام به وزن بالا، خواص حرارتی ویژه در جذب و یا انتقال حرارت، خواص الکتریکی خاص و قابلیتهای ویـژه در جـذب صـوت و انـرژی می باشد. به طور کلی مواد فومی، دسته‌ای از مواد هستند که با روش‌های گوناگونی متخلخل شده‌اند. این تخلخـل هـا باعـث ایجـاد خـواص ویـژه‌ای مـی‌شـودکه حتـی منجـر بـه اختصـاص طبقـه‌ای جدیـد در تقسیم‌بندی‌های علمی مواد مهندسی شده است. از این میان ، برجسته ترین خواص فوم های فلزی به رفتار فشاری فوم ها ،می توان اشاره کرد[۱-۳] .

تحت فشار ، فوم‌های فلزی رفتار متفاوتی در مقایسه با فلـزات از خـود نشـان مـی دهنـد . در منحنـی تنش – کرنش فوم‌ها ناحیه مسطحی وجود دارد که در آن تحت یـک تـنش ثابـت ، کـرنش در محـدوده وسیعی تغییر می کند . این نوع رفتار فوم‌های فلزی آنها را برای استفاده درکاربردهای جـذب انـرژی ، در جاهایی که در یک تنش ثابت نسبتا کم ، تغییر فرم زیادی می تواند صورت بگیرد ، مناسب می سازد[۲] . خصوصیاتی که خواص فشاری مکانیکی فوم را تعیین می‌کنند عبارتند از ؛ مـدول یانـگE (سـفتی مـواد سلولی) ، حد الاستیک σy (که ممکن است تغییر کمی تحت فشار و کشش داشته باشـد) ، اسـتحکام کششی σUTS ، تنش در ناحیه مسطح تحت فشار σPL (PL بـه معنـای پلاسـتیک اسـت) ، کـرنش در ناحیه تراکم ، کرنش کششی نهایی εUTS وکرنش شکست εf . این پارامترها در یک دانسیته معین به نوع فوم ، باز یا بسته بودن حفرات ، انیزوتروپی و سایر پارامترهای ساختاری آن بستگی دارد [۷] .

هدف از این پژوهش بررسی پارامترهای مکانیکی نظیر استحکام تسـلیم فشـاری ، اسـتحکام فشـاری نهایی ، و تنش فشاری مسطح تحت مقادیر مختلف ذرات سرامیک SiC و کربنات کلسیم می باشد .

۲. مواد و روش تحقیق

آلیاژ آلومینییوم ریختگی A356 به عنوان فلز پایه انتخـاب گردیـد . فـاز تقویـت کننـده شـامل ذرات SiC با خلوص ۹۸٪ وزنی و اندازه برابر با ۱۰ میکرومتر تهیه شد.

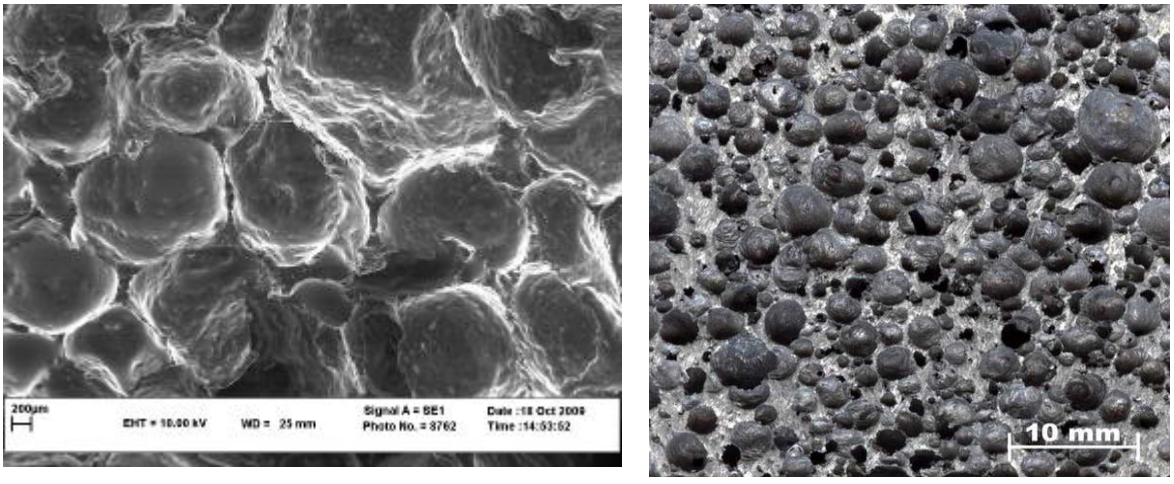
فوم آلومینیوم با تکنیک فـوم سـازی مسـتقیم مـذاب بـا اسـتفاده از عامـل فـوم سـاز کربنـات کلسـیم (CaCO3) تهیه گردید . برای تولید محصول فومی ابتدا شـمش آلومینیـوم بـه همـراه مقـادیر مشـخص از ذرات SiC با استفاده از تکنیک ریخته گری گردابی در دمای ۶۸۰-۶۵۰ درجه سانتیگراد تولید شد .پـس

از آن پودر کربنات کلسیم به مذاب در حال اغتشاش اضافه شده و مذاب در دمای ۷۱۰ درجه سانتیگراد برای مدت چند دقیقه نگه داشته شد تا کربنات کلسیم تجزیه شود و تولید گاز CO_2 نماید. در ادامه فوم تولید شده از کوره خارج شده و در هوای خنک می شود . مقادیر ۳،۱ و ۵ درصد وزنی از پودر کربنات کلسیم و مقدار ۱۰،۵ و ۱۵ درصد حجمی ذرات SiC برای تولید فوم کامپوزیتی آلومینیوم استفاده گردید تا اثر متفاوت این مقادیر بر روی خواص فشاری فوم تولید شده بررسی گردد[۸] .

آزمون فشار تک محوره طبق استاندارد DIN50134 بر روی نمونه های فومی مکعبی به ابعاد 30mm×30mm×40mm با استفاده از ماشین تست Zwick Z250 یونیورسال کنترل شونده با کامپیوتر با سرعت کرنش .0.5 mm/min انجام شد.ابعاد نمونه طبق استاندارد باید حداقل هفت برابر اندازه سلول های فوم باشد تا از تاثیر اندازه سلول ها بر خواص فشاری فوم جلوگیری شود [۷] .

چگالی نمونه ها با استفاده از نسبت وزن به حجم مشخص شد . نسبت دانسیته نسبی بصورت $\rho/\rho s$ تعریف شده و عبارتند از نسبت چگالی محصول فومی به چگالی ماده موجود در دیواره می باشد.

میکروسکوپ نوری مدل Olympus PM3 و الکترونی روبشی SEM مدل (LEO 1450(35 KV برای بررسی ساختار سلول ها و توزیع ذرات SiC در درفوم کامپوزیتی Al/SiCp به کار برده شده است. شکل۱ ساختار سلول و توزیع ذرات SiC در دیواره سلول را نشان می دهد.



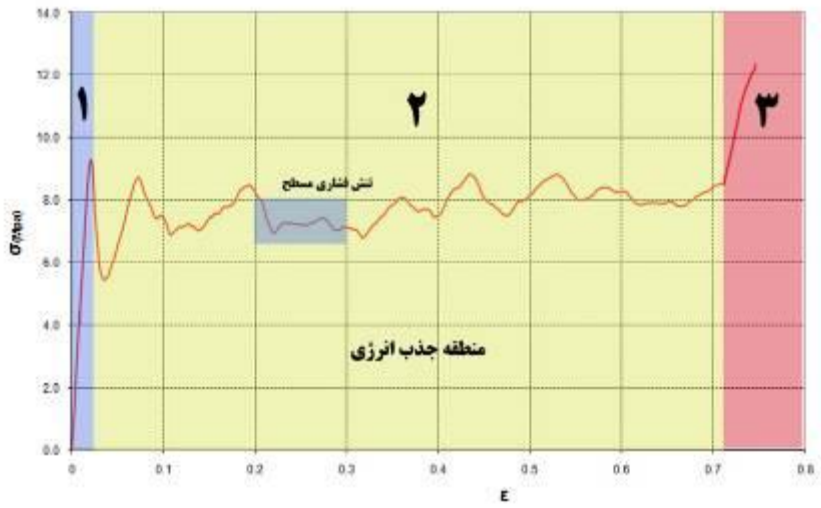
الف ب

شکل۱. الف) تصویر SEM از ساختار سلولی فوم آلومینیوم و توزیع ذرات SiC ب) تصویر ساختار یکنواخت سلول های فوم آلومینیوم

۳. نتایج و بحث

۳ ۱. آنالیز منحنی تنش کرنش فشاری فوم آلومینیوم

این منحنی برای فوم های مختلف متفاوت است اما همه آنها از سه ناحیه مجزا تشکیل شده اند ۱- ناحیه اولیه که در آن تنش تقریبا به صورت الاستیک خطی افزایش می یابد ، ۲- ناحیه تنش ثابت [1] که مقدار تنش در این ناحیه دارای تغییرات کمی است و ۳- ناحیه استحکام مجدد فوم و چگال شدن [2].



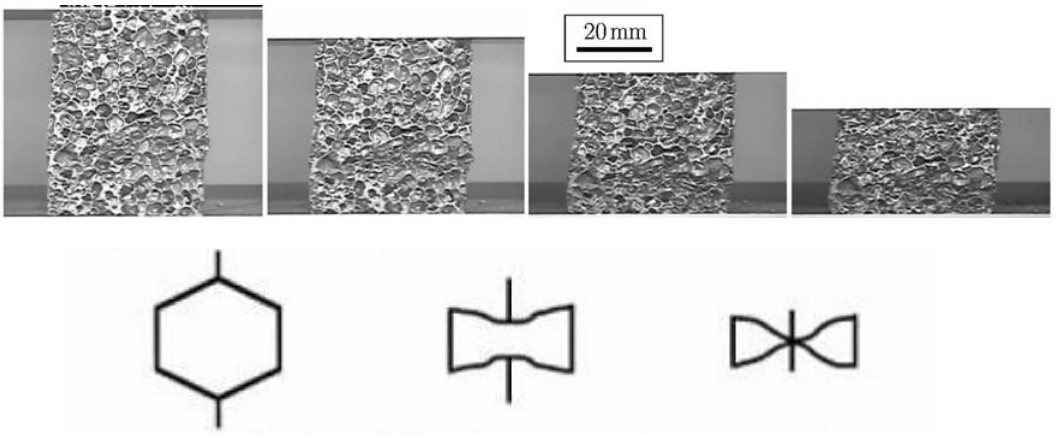
شکل۲. بررسی منحنی تنش کرنش فشاری فوم آلومینیوم

پس از ناحیه الاستیک یک سخت شوندگی در نمودار مشاهده می‌شود که با رفتار سخت‌شوندگی ماده اصلی در حالت غیر فومی متفاوت است. سخت شوندگی در فوم به علت تخریب دیواره‌ها در اثر اعمال نیرو و از بین رفتن آنها کمتر است . پس از ناحیه الاستیک ، یک ناحیه مسطح و پس از آن تراکم نهایی فوم مشاهده می‌شود .

[1] Plateau

[2] Densification

در تحقیقات صورت گرفته بر روی فوم‌های آلومینیومی و بررسی رفتار آنها تحت فشار، تغییر فرم یال ها و دیواره های سلول بصورت زیر مشاهده شد . همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود تغییر فرم بصورت فشاری است [۱-۳].

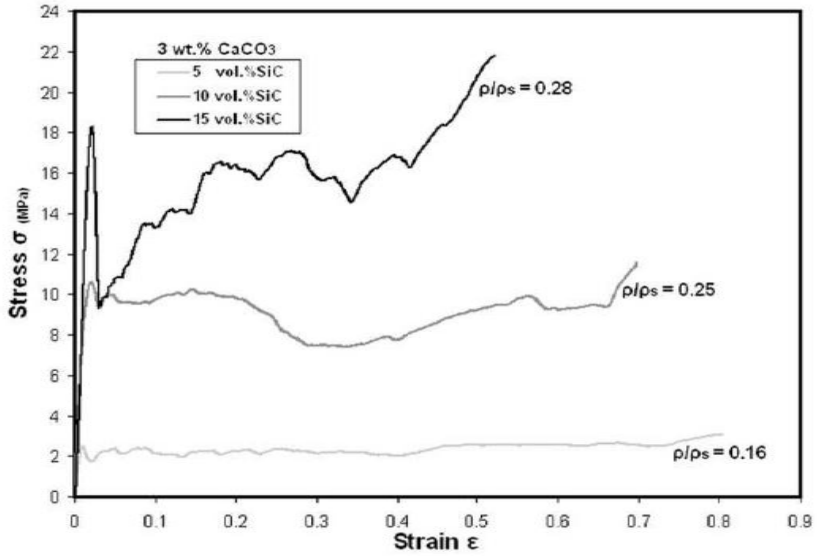


شکل۳. تغییر فرم فشاری لبه سلول ها در طول آزمون فشار بر روی فوم آلومینیوم

اگر تنش ها در گوشه ها و دیواره ها از تنش تسلیم (σ_{ys}) جامد تجاوزکند ، وارد ناحیه پلاستیک می شویم و تغییر فرم خطی و قابل بازگشت نیست . به علت ساختار غیر یکنواخت برخی از فوم‌های فلزی درکرنش های نسبتا کم در برخی از قسمت های فوم تمرکز تنش از تنش تسلیم تجاوز می کند ، که این مسئله باعث تغییر فرم پلاستیک زودهنگام فوم می شود . بنابراین ناحیه الاستیک خطی در منحنی تنش – کرنش یک فوم نرم در حالت کلی به سختی گسترش می یابد . افزایش نیرو بر روی فوم باعث کمانش گوشه های سلول و در نواحی ضعیف‌تر باعث کمانش گوشه ها و دیواره های سلول می شود . باند تغییر فرم عمود بر جهت اعمال نیرو گسترش می یابد، که طی آن تغییر فرم پلاستیک سلول ها رخ می دهد و این همراه با ورود به ناحیه مسطح در منحنی تنش – کرنش است . ناحیه مسطح منحنی تنش – کرنش کاملا مسطح نمی باشد و سطح آن به شکل دندانه ای وموج دار رخ می دهد .با افزایش کرنش ، باندهای تغییر فرم بیشتری تشکیل می شوند و با از بین رفتن بیشتر سلول ها وارد ناحیه تراکم منحنی می‌شویم . به علت ناحیه هموار وسیعی که در منحنی تنش – کرنش تحت فشار مشاهده می شود ، قابلیت و راندمان جذب انرژی خوبی وجود دارد . زیرا در این ناحیه که مقدار تنش ثابت باقی می ماند ، تغییر شکل قابل توجهی امکانپذیر است و حاصل ضرب این دو مقدار انرژی جذب شده فراوانی را در پی خواهد داشت.

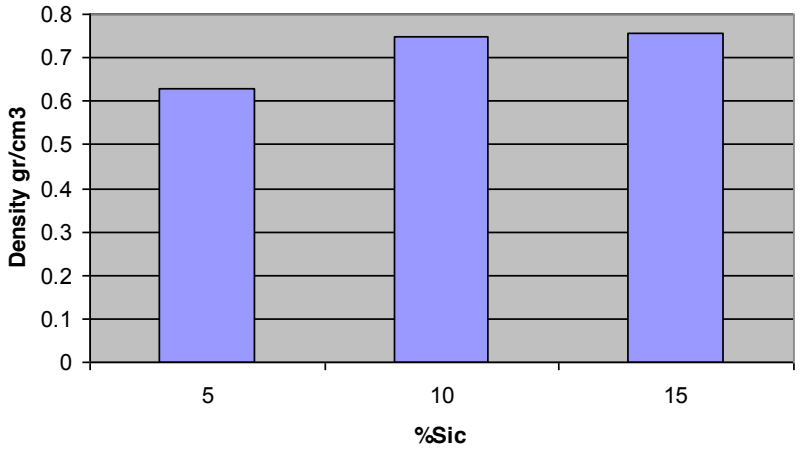
۳ ۴. بررسی تاثیر کاربید سیلیسیوم بر روی رفتار فشاری فوم

ذرات کاربید سیلیسیوم افزوده شده به عنوان یک عامل پایدار کننده فوم ، همچنین سبب تاثیر مثبت بر خواص فشاری فوم نیز می گردد . نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد حجمی ذرات کاربید سیلیسیوم افزوده شده در مذاب کامپوزیتی آلومینیوم سبب افزایش استحکام تسلیم فوم های آلومینیوم تولید شده می گردد. چون ترکیب دیواره حفرات نیز تحت تاثیر ترکیب مذاب فوم شونده است. ذرات کاربید سیلیسیوم در فوم این نیروی فشاری را تا حدی تحمل می کنند و باعث افزایش استحکام می شوند تا اینکه نیروی وارده فراتر از حد تحمل فوم شود و باعث شکست از فصل مشترک یا از درون ذرات کاربید سیلیسیوم می شود.



شکل۴. منحنی تنش کرنش فشاری فوم های کامپوزیتی تولید شده با مقادیر ثابت کربنات کلسیم و کسر حجمی متفاوت ذرات Sic

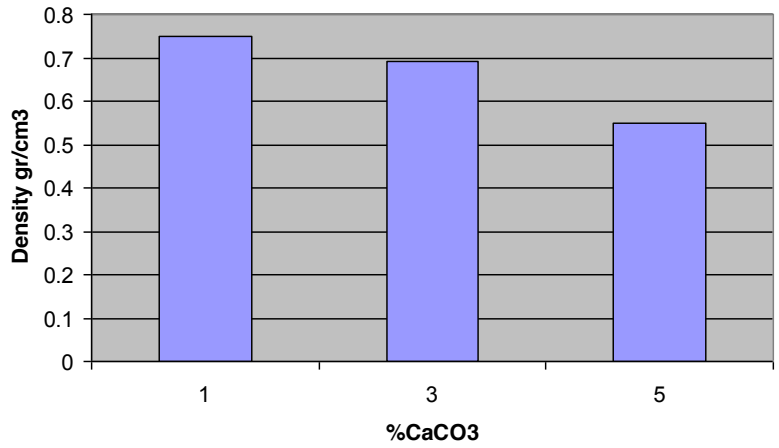
افزایش درصد کاربید سیلیسیوم سبب افزایش ضخامت دیواره سلول های فوم گردیده ومیزان تخلخل فوم کمتر شده درنتیجه باعث افزایش دانسیته فوم می‌گردد . رفتار فشاری فوم های کامپوزیتی به شدت تابع دانسیته فوم است، تنش در مرحله تخریب سلول ها به نسبت افزایش چگالی نمونه فوم افزایش می یابد و شدت چگال شدن مرحله سوم نیز برای فوم چگال تر به همان نسبت بیشتر است.



شکل۵. نمودارتاثیر کاربید سیلیسیوم بر روی دانسیته فوم

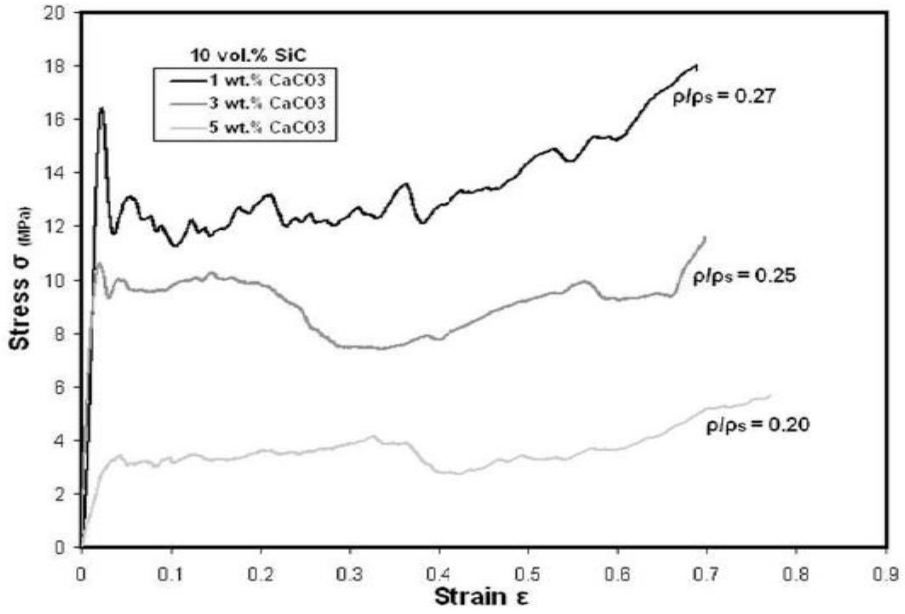
۳ ۴. بررسی تاثیر کربنات کلسیم بر روی رفتار فشاری فوم

کربنات کلسیم به عنوان عامل فوم ساز باعث ایجاد تخلخل در فلز زمینه می شود .با افزایش درصد وزنی کربنات کلسیم درصد تخلخل افزایش می یابد که این سبب کاهش دانسیته فوم می گردد .



شکل۶. نمودار تاثیرکربنات کلسیم بر روی دانسیته فوم با۱۰درصد کاربید سیلیسیم

نتایج نشان می دهد با افزایش کربنات کلسیم استحکام تسلیم فشاری ، تنش فشاری مسطح واستحکام فشاری نهایی فوم کاهش می یابد که این به دلیل افزایش درصد تخلخل (کاهش دانسیته) فوم ها می باشد .

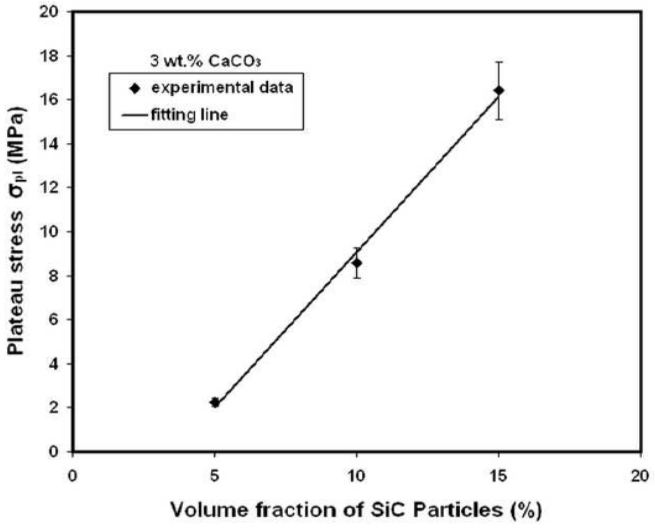


شکل۷. منحنی تنش کرنش فشاری فوم های کامپوزیتی تولید شده با مقادیر ثابت کاربید سیلیسیوم و درصد وزنی مختلف پودر کربنات کلسیم

۴. نتیجه گیری

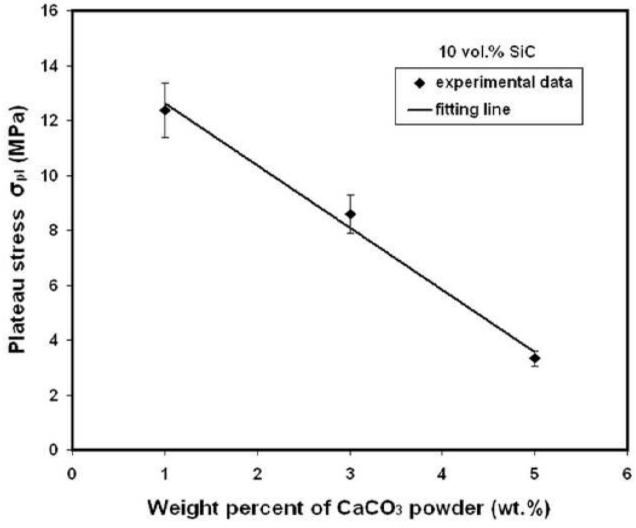
۱ - نتایج آزمون فشار از فوم های آلومینیومی تقویت شده با ذرات کاربید سیلیسیم نشان می دهد که منحنی تنش کرنش به شکل ناصاف و داندانه ای می باشد و از سه ناحیه تشکیل شده است: ناحیه اول که در آن تنش تقریبا به صورت الاستیک خطی افزایش می یابد ، ناحیه دوم تنش ثابت که مقدار تنش در این ناحیه دارای تغییرات کمی است و ناحیه سوم استحکام مجدد فوم و چگال شدن.

۲ - افزایش کاربید سیلیسیوم در مقادیر ثابت عامل فوم ساز کربنات کلسیم سبب افـزایش اسـتحکام فشاری مسطح فوم می گردد .



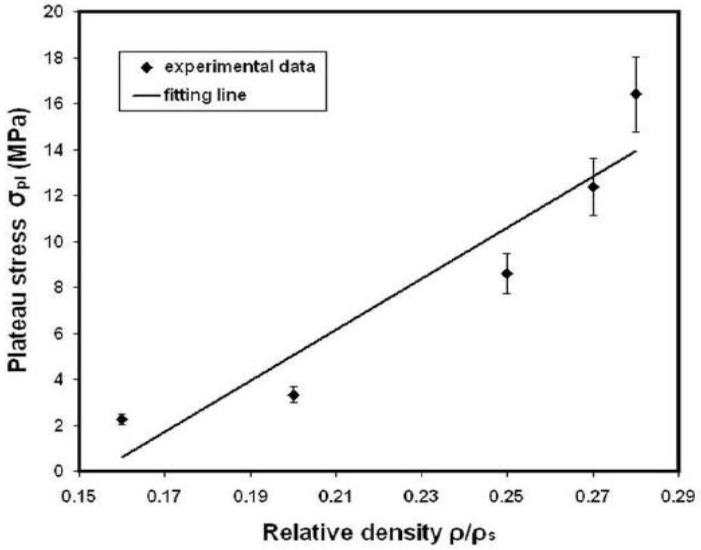
شکل۸. نمودار تاثیر کسر حجمی ذرات کاربید سیلیسیوم بر استحکام فشاری مسطح فوم آلومینیوم در مقادیر ثابت کربنات کلسیم

۳ - افزایش عامل فوم ساز کربنات کلسیم در مقادیر ثابت کاربید سیلیسیوم سـبب کـاهش اسـتحکام فشاری مسطح فوم آلومینیوم تولید شده می گردد .



شکل۹. نمودار تاثیر درصد وزنی عامل فوم ساز کربنات کلیسم بر استحکام فشاری مسطح فوم آلومینیوم در مقادیر ثابت کاربید سیلیسیوم

۴ - نتایج نشان می دهد با افزایش دانسیته نسبی(ρ/ρs) که این مقدار با افزایش کاربید سیلیسیوم و کاهش کربنات کلیسم صورت می گیردد، سبب افزایش میزان استحکام فشاری مسطح می گردد .



شکل۱۰. نمودار تاثیر دانسیته نسبی بر استحکام فشاری مسطح فوم های آلومینیوم تولید شده

۵. مراجع

1. P.S. Liu, T.F. Li, C. Fu , Relationship between electrical resistivity and porosity for porous metals , 1998.
2. Koichi Kitazono, Yusuke Kikuchi, Eiichi Sato, Kazuhiko Kuribayashi, Anisotropic compressive behavior of Al–Mg alloy foams manufactured through accumulative roll-bonding process, Materials Letters 61 (2007) 1771–1774.
3. Jiaan Liu, Sirong Yu, Xianyong Zhu, Ming Wei, Yanru Luo, Yaohui Liu, The compressive properties of closed-cell Zn-22Al foams, Materials Letters Article in press.
4. K. Isomura , Y. Kume , M. Kobashi , N. Kanetake, Effect of skin layer on compressive properties of aluminium Foams, MetFoam 2009
5. Yu Sirong ,Liu Jiaan, Luo Yanru, Liu Yaohui ,Compressive behavior and damping property ofZA22/SiCp composite foams , Materials Science and Engineering A 457 (2007) 325–328
6. E. Koza, , M. Leonowicz, S. Wojciechowski, F. Simancik ,Compressive strength of aluminium foams , Materials Letters 58 (2003) 132– 135
7. N. Kanetake ,International standard for compression test of porous andcellular metals, MetFoam 2009
8. M. Golestanipour, H. Amini Mashhadi, M. S. Abravi, M. Malek Jafarian ,Manufacturing of

Al/SiCp composite foams using calcium carbonate as foaming agent, Journal of Materials Processing Technology
9. Feng Yi, Zhengang Zhu ,Strain rate effects on the compressive property and the energy-absorbing capacity of aluminum alloy foams, Materials Characterization 47 (2001) 417– 422
10. WANG DEQING, XUE WEIWEI ,Cell structure and compressive behavior of an aluminum foam, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 40 (2005) 3475 – 3480

An Investigation on Compressive properties of closed cell aluminum foam

M.Malekjafarian*, k. Sadrnezhad ,M.Golestanipour , M.S.Abravi

Sharif University of Technology , Azadi Ave., Tehran , Iran , P.O. Box 11155-9466
E-mail: Malekjafarian@mehr.sharif.*ir(M.Malekjafarian)*

Abstract

The effcts of SiC Particles and CaCO3foaming agent on compressive behavior of aluminum foam produced by direct foaming route of melt are investigated in this study . single-axis compression test was carried out according to DIN 50134 standard . compressive stress – strain curre of aliminum foam is not smooth and exhibit some serrations. At the some relative density of foams the plateau stress of the composite foams increasing SiC_p volume fraction and decreasing $CaCO_3$weight percent . The relation between plateau stress, relative density , weight percent of $CaCO_3$ and SiC_P volume fraction of Al/SiC_P composite foams with a given particle size was investigated.

Keywords: Aluminum foam, closed cell, compression properties, silicon carbide, calcium carbonate