



## بررسی خواص مقاومت فشاری و ضربه کامپوزیت آلومینیم-گرانول آلومینا تولید شده به روش ریخته‌گری تحت فشار

قدرت الله رودینی<sup>1\*</sup>، مرتضی خسروی<sup>2</sup>، محسن خمیری<sup>3</sup>

1- دانشیار، مهندسی مواد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

2- مربی، مهندسی مواد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مواد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

\* زاهدان، صندوق پستی 987-98155، [ghodratollah.roudini@eng.usb.ac.ir](mailto:ghodratollah.roudini@eng.usb.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: 96/2/31	کامپوزیت‌های زمینه فلزی آلومینیم - آلومینا با خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب از مواد مدرن مهندسی هستند. این کامپوزیت‌ها بطور وسیع در بسیاری از صنایع ( هوا-فضا، اتومبیل، الکترونیک و غیره ) استفاده می‌شوند. در این پژوهش پیش‌فرم گرانول آلومینا با اندازه‌ها مختلف (20-100 μm) تولید و در دماهای 1300°C و 1400°C و به مدت زمان دو ساعت سینتر شدند. سپس آنها در دمای 700°C و به مدت یک ساعت پیش‌گرم شدند. سپس پیش‌فرم‌های گرانول آلومینا بوسیله مذاب آلومینیم با فشار 3MPa با روش ریخته‌گری تحت فشار فلزخورانی شدند. بعد از ساخت کامپوزیت‌ها خواص ساختاری آنها با استفاده از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی مطالعه شد. نتایج حاصل از بررسی ریزساختاری نشان داد که در دمای بالای سینترینگ مقدار حفرات کم و درات آلومینا به خوبی به همدیگر متصل شده‌اند. همچنین خواص مکانیکی استحکام فشاری، استحکام ضربه و میکروسختی نیز در کامپوزیت‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش دمای سینترینگ گرانول آلومینا، باعث افزایش استحکام فشاری و سختی کامپوزیت می‌شود ولی مقاومت به ضربه کاهش می‌یابد.
پذیرش: 96/10/7	
کلیدواژگان: گرانول آلومینا آلومینیم کامپوزیت سینترینگ	

## Compression and impact strength study of aluminum- alumina granule produced by squeeze-casting method

Ghodratollah Roudini\*, Morteza Khosravi, Mohsen Khammari

Department of Materials Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

\* P.O.B. 987-98155, Zahedan, Iran, [ghodratollah.roudini@eng.usb.ac.ir](mailto:ghodratollah.roudini@eng.usb.ac.ir)

### Keywords

Alumina granule  
 Aluminium  
 Composite  
 Sintering

### Abstract

Aluminum-ceramic metal matrix composite is a class of modern engineering materials with interesting physical and mechanical properties. These composites are used widely in many industrial (aerospace, automobile, electronic and etc). In present study, alumina granules preforms with different size (20-100 μm) were made and sintered at 1300°C and 1400°C for 2 h. Then the preforms were preheated at 700°C for 1h. Finally, molten Al was infiltrated into the preforms under load of 3 MPa by squeeze casting method. After composites making their microstructures were studied by SEM and optical microscope. The microstructure results showed that composite with higher sintering temperature has low porosities and well connected granules. Also, compressive strength, impact resistance and hardness of the composites were investigated. The results showed that sintering temperature improved compressive strength and hardness of the composites, but impact strength decreased. The strength and brittleness of the composites is higher for the composites with high sintering temperature.

### 1-مقدمه

تقویت‌کننده کامپوزیت‌های زمینه فلزی به دو شکل الیافی یا ذره‌ای می‌باشند که در یک زمینه فلزی توزیع شده‌اند [5]. استفاده از کامپوزیت‌های زمینه فلزی به جای فلزات مزایایی چون، افزایش نسبت استحکام به وزن، پایداری زیاد ابعادی نسبت به تغییرات دمایی محیط، افزایش مقاومت خزشی و بهبود استحکام خستگی را دارد [6]. از جمله برتری‌های کامپوزیت‌های زمینه فلزی نسبت به کامپوزیت‌های پلیمری می‌توان به استحکام، سختی، هدایت الکتریکی و حرارتی و تحمل حرارتی

کامپوزیت‌های زمینه فلزی، خواص مکانیکی قابل توجهی همچون استحکام فشاری، مقاومت به خستگی و خزش بالا [1]، مقاومت به سایش و پایداری حرارتی خوبی را نشان می‌دهند [2] و به همین دلیل کاربردهای متعددی در صنایع هوافضا، خودروسازی و نظامی پیدا کرده‌اند [3]. کامپوزیت‌ها از دو یا چند ماده مجزا ساخته شده است که می‌تواند فلزی، سرامیکی و یا پلیمری باشد. هدف از ساخت کامپوزیت‌ها رسیدن به خواصی که به تنهایی هیچ یک از اجزاء سازنده کامپوزیت ندارند [4]. معمولاً جزء

Please cite this article using:

Roudini, G. Khosravi, M. and Khammari, M., "Compression and impact strength study of aluminum- alumina granule produced by squeeze-casting method", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 5, No. 3, pp. 387-394, 2018.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

متالورژی پودر توانستند کامپوزیتی تولید کنند که سختی آن تا حد زیادی نسبت به آلومینیم افزایش یافت و مشاهده شد که هر چه مقدار کاربید بور در پودر آسیاب شده بیشتر بود استحکام به دست آمده نهایی نیز بیشتر شد [15]. در یکی از آخرین تحقیقات انجام شده در مورد کامپوزیت‌های زمینه آلومینیم زار و همکارانش توانستند با کامپوزیت‌سازی آلومینیم به وسیله نانو-لوله‌های کربنی، استحکام کامپوزیت آن را نسبت به آلومینیم تا 30 درصد افزایش دهند و این در حالی بود که چگالی کامپوزیت تولید شده نسبت به آلومینیم خالص کاهش یافته بود. البته انعطاف پذیری کامپوزیت تولید شده نیز نسبت به آلومینیم خالص کاهش یافته بود [18].

در تحقیق دیگری رحیمیان و همکارانش، اثر اندازه و مقدار ذرات پودر آلومینا بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت آلومینیم-پودر آلومینا که به روش متالورژی پودر ساخته شد را مورد مطالعه قرار دادند. مشاهده شد که با افزایش مقدار ذرات آلومینا و نیز کاهش اندازه ذرات آن، استحکام و چگالی کامپوزیت افزایش یافت و همچنین با افزایش مقدار آلومینا در کامپوزیت انعطاف‌پذیری کاهش یافت اما در یک مقدار مشخص آلومینا با کاهش اندازه ذرات آلومینا انعطاف‌پذیری افزایش یافت [19].

به جای استفاده از ذرات سرامیکی می‌توان از گرانول آن‌ها در ساخت کامپوزیت استفاده کرد. گرانول سازی فرآیندی برای بزرگ کردن و مجتمع کردن ذرات کوچک است که به طور گسترده در صنایع استفاده می‌شود [21]. خواص گرانول به عوامل مختلفی از جمله روش ساخت، اندازه، شکل ذرات و دمای سینترینگ بستگی دارد. با کاهش اندازه ذرات و افزایش دمای سینترینگ می‌توان استحکام و دانسیته گرانول را افزایش داد [22,23].

شفیعی و همکارانش در تحقیقی برای ساخت گرانول آلومینا نشان دادند که با افزایش نسبت چسب به آلومینا، اندازه ذرات گرانول آلومینا و استحکام پس از سینتر آن‌ها افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش دمای سینترینگ مقدار تخلخل گرانول کاهش می‌یابد [23].

در این تحقیق به جای استفاده از پودر آلومینا، از گرانول آلومینا برای ساخت کامپوزیت استفاده شد. از آنجایی که گرانول دارای تخلخل است باعث کاهش چگالی کامپوزیت ساخته شده می‌شود. سینترینگ گرانول‌ها باعث کاهش تخلخل‌ها و افزایش استحکام آنها می‌شود که در این تحقیق تاثیر این عوامل بر خواص مکانیکی کامپوزیت بررسی شد.

## 2-روش انجام آزمایش

ساخت کامپوزیت آلومینیم-گرانول آلومینا به روش ریخته‌گری تحت فشار انجام گرفت. قالب و پیش فرم در کوره الکتریکی پیش گرم و مذاب توسط کوره القایی آماده گردید. کوره القایی مورد استفاده ساخت شرکت تپکا می‌باشد. مذاب مورد استفاده در بوته‌ای که از جنس کاربید سیلیسیم بود تهیه شد. کوره پیش‌گرم از نوع الکتریکی مقاومتی و ساخت شرکت تجهیز سرام است که می‌تواند حداکثر دمای 1200 سانتیگراد را تامین نماید. دمای پیش‌گرم برای همه نمونه‌های گرانول قبل از تزریق مذاب 700 سانتیگراد انتخاب شد. مشخصات مواد اولیه که برای ساخت گرانول‌ها مورد استفاده قرار گرفته در جدول 1 آمده است.

از محلول پلی وینیل الکل<sup>4</sup> با غلظت‌های مختلف به عنوان مایع پیوند دهنده استفاده شد. پنج درصد وزنی پودر خشک اولیه را در تمام آزمایش‌ها سیلیس<sup>5</sup> تشکیل می‌دهد و مابقی آن آلومینا<sup>1</sup> است. برای تهیه گرانول از 285

بالتر اشاره نمود. از خصوصیات اصلی کامپوزیت‌های زمینه فلزی بالا بودن استحکام است [5].

گستره وسیعی از آلیاژهای آلومینیم در کامپوزیت‌های زمینه فلزی استفاده می‌شود. چگالی اغلب آلیاژهای آلومینیم به چگالی آلومینیم خالص نزدیک است که این مقدار تقریباً 2.7 (گرم بر سانتی‌متر مربع) است. آلومینیم خالص در دمای 660 سانتیگراد ذوب می‌شود. این دمای ذوب نسبتاً پایین در مقایسه با اکثر فلزات، مناسب برای ماده زمینه کامپوزیت، باعث تسهیل فرآیند تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی پایه آلومینیم در برابر روش‌هایی مانند متالورژی پودر و روش‌های قالب‌گیری می‌گردد. در این میان کامپوزیت‌های زمینه آلومینیمی به علت وزن پایین، استحکام بالا، مقاومت سایشی عالی و ضریب انبساط حرارتی پایین در مقایسه با آلیاژ زمینه دسته مهمی از مواد پیشرفته هستند [7].

مقاومت سایشی آلومینیم کم است. به همین دلیل کامپوزیت‌های زمینه آلومینیم بهبود قابل توجهی در خواص سایشی در مقایسه با آلومینیم از خود نشان داده‌اند [8]. کامپوزیت‌های تقویت‌شده ذره‌ای استفاده‌های زیادی دارند که از دلایل آن می‌توان به عدم وابستگی خواص مکانیکی به جهت قرارگیری ذرات دانست. تحقیقات نشان می‌دهد که کامپوزیت‌های تقویت شده با ذرات سرامیکی دارای خواص مکانیکی و سایشی بهتری هستند [9].

اغلب مواد تقویت‌کننده مورد استفاده در کامپوزیت‌های زمینه فلزی، سرامیک‌ها اکسیدها، کاربیدها، نیتريد‌ها هستند. سرامیک‌ها موادی ویژه از لحاظ استحکام و سختی در محیط‌های با دمای معمولی و دما بالا هستند. تقویت‌کننده‌ها به دو گروه عمده تقویت‌کننده‌های ذره‌ای یا ویسکرها و تقویت‌کننده‌های الیافی تقسیم می‌شوند [10].

نقش تقویت‌کننده به نوع ساختار کامپوزیت زمینه فلزی وابسته است. در کامپوزیت‌های زمینه فلزی تقویت شده با ذرات، زمینه تحمل‌کننده بار اعمالی است. نقش تقویت‌کننده ایجاد استحکام و سختی کامپوزیت به واسطه جلوگیری از تغییر شکل زمینه است، که این عمل با موانع فیزیکی ایجاد شده به وسیله تقویت‌کننده انجام می‌شود [11].

یکی از مهمترین تقویت‌کننده‌ها در ساخت کامپوزیت‌های زمینه فلزی آلومینا می‌باشد [12]. آلومینا، اکسید آلومینیم است و ماده معدنی بلوری آن کوراندوم نام دارد. آلومینا به دلیل سختی، استحکام و دمای ذوب بالا به عنوان ماده ساینده مورد استفاده قرار می‌گیرد [13].

تحقیقات زیادی برای ساخت کامپوزیت‌های ذره‌ای توسط پودر آلومینا و سایر سرامیک‌ها با زمینه آلومینیم و آلیاژهای آلومینیم انجام شده است [9، 10، 11، 12، 13، 14، 15، 16، 17، 18، 19، 20].

خرم خورشید و همکارانش توانستند از پودر شیشه‌ای  $Al_{84}Gd_6Ni_7Co_3$  و آلومینیم خالص به روش ای.آر.بی<sup>1</sup> کامپوزیتی با خواص قابل ملاحظه تولید کنند. در این تحقیق نشان داده شد، در کامپوزیتی که طی 9 مرحله از فرآیند ای.آر.بی قرار گرفته است، ذرات تقویت‌کننده به خوبی توزیع شده و تخلخل کامپوزیت بسیار کم شده و استحکام و سختی کامپوزیت نیز به صورت معناداری نسبت به آلومینیم خالصی که تحت عملیات مشابه قرار گرفته؛ افزایش یافته است [9].

بودوکوری و همکارانش با کاربید بور<sup>2</sup> و کاربید سیلیسیم<sup>3</sup> به عنوان تقویت‌کننده و آلومینیم، با استفاده از روش‌های آلیاژسازی مکانیکی و

<sup>1</sup> - Accumulative Roll Bonding (ARB)

<sup>2</sup> - B<sub>4</sub>C

<sup>3</sup> - SiC

<sup>4</sup> - PVA

<sup>5</sup> - SiO<sub>2</sub>

تولیدی است. کسر حجمی گرانول به کار رفته در کامپوزیت که در جدول 2 آمده است توسط نرم افزار ایمپج جی محاسبه شده است.

جدول 1 مشخصات مواد اولیه برای ساخت کامپوزیت آلومینوم-گرانول آلومینا

Table 1 specifications of materials for manufacturing aluminum-alumina granular composite

نوع ماده	اندازه ذرات (μm)	سطح ویژه (m <sup>2</sup> /g)	خلوص (%)
پودر آلومینا	1	6	99.5
پودر سیلیس	6.5-8.5	6	99.4
آلومینیم	-----	----	99.5

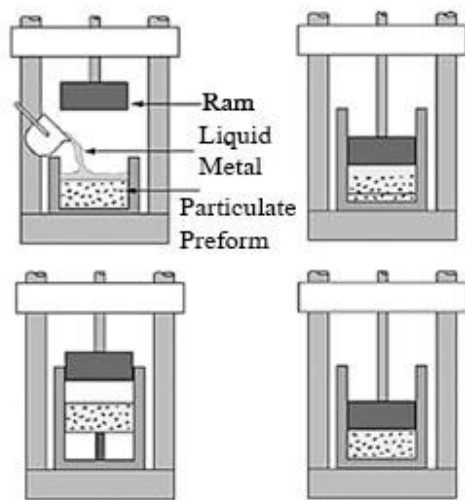


Fig.1 Overview of in-situ infiltration method to manufacturing composite particles [14]

شکل 1 شمای کلی از روش فلزخورانی برای تولید کامپوزیت ذره‌ای [14]

جدول 2 درصد تخلخل کامپوزیت‌ها و درصد حجمی گرانول در کامپوزیت‌ها

Table 2 porosity percent of composites and volum fraction of granules in composites

شرایط سینترینگ	اندازه گرانول (μm)	درصد تخلخل گرانول	درصد حجمی گرانول
بدون سینتر	840	23	55
بدون سینتر	500	19	62
بدون سینتر	300	17	67
بدون سینتر	150	11	75
2 h - 1300 °C	840	15	55
2 h - 1300 °C	500	13	62
2 h - 1300 °C	300	10	67
2 h - 1300 °C	150	8	75
2 h - 1400 °C	840	13	55
2 h - 1400 °C	500	9	62
2 h - 1400 °C	300	7	67
2 h - 1400 °C	150	4	75

شکل‌های 2، 3 و 4 از آزمون فشار نمونه‌های مختلف کامپوزیت‌های ساخته شده به دست آمده است. از آنجایی که از آزمون فشار برای بررسی

گرم آلومینا و 15 گرم سیلیس با میانگین اندازه ذره 8.1-6.5 میکرومتر به عنوان پودر اولیه و از محلول پلی وینیل الکل در آب مقطر به عنوان مایع پیوند دهنده درحفظه اختلاط یک لیتری استفاده شد. ابتدا اختلاط خشک پودر اولیه را در مدت زمان کمی (در حدود 5 دقیقه) با حرکت پروانه همزن و سرعت 150 دور بر دقیقه انجام شد. سپس 68 و 78 میلی‌لیتر از مایع پیوند دهنده را با دبی 150 میلی‌لیتر بر ساعت به تدریج با روش پاشیدن در درون دستگاه به آن اضافه شد و پس از مدتی اختلاط، گرانول‌های مورد نظر از دستگاه خارج شده و برای خشک کردن آن‌ها، در دمای محیط آزمایشگاه به مدت 12 ساعت روی یک سطح صاف قرار گرفت.

به منظور افزایش استحکام دانه‌های گرانول عملیات سینترینگ بر روی آنها انجام شد. جهت سینتر کردن گرانول آلومینا، از ظرفی گرافیتی که به شکل استوانه ساخته شده بود؛ استفاده شد و دماهای 1300 و 1400 سانتیگراد جهت سینترینگ انتخاب شد.

در این پژوهش از سه نوع گرانول در چهار اندازه متفاوت برای ساخت کامپوزیت زمینه فلزی آلومینیم استفاده شد. گرانول‌ها در سه نوع سینتر نشده، سینتر شده در دو دمای 1300 و 1400 سانتیگراد تهیه شدند. از ظرفی گرانول‌ها در اندازه‌های متفاوت 150، 300، 500، 840 میکرومتر تهیه شدند و در مجموع 12 نوع گرانول برای ساخت کامپوزیت تهیه شد.

برای تزریق مذاب در بین گرانول‌های آلومینا از یک پیستون و سیلندر استفاده شد که شمای کلی فرآیند تزریق مذاب در شکل 1 نشان داده شده است. برای این منظور از یک دستگاه پرس هیدرولیک استفاده گردید که فشاری معادل 10 مگاپاسکال، تنش روی مذاب اعمال کرد تا تزریق مذاب بطور کامل انجام شود.

نمونه‌های کامپوزیت تولید شده برای آزمون فشار، استوانه‌ای به قطر 20 میلی‌متر و ارتفاع 30 میلی‌متر بودند و توسط دستگاه آزمون فشار<sup>2</sup> با نرخ کرنش 0.02 میلی‌متر بر دقیقه، مورد آزمایش قرار گرفتند.

آزمون ضربه توسط دستگاهی با ظرفیت حداکثر 4 ژول انجام شد. نمونه‌های آزمون ضربه به شکل مکعب مستطیل و با سطح مقطع 10×10 میلی‌متر و طول 55 میلی‌متر تهیه شد که در قسمت وسط آن شیار به عمق 5 میلی‌متر ایجاد شد و در قسمت انتهایی شیار سوراخی به قطر 2 میلی‌متر تعبیه گردید.

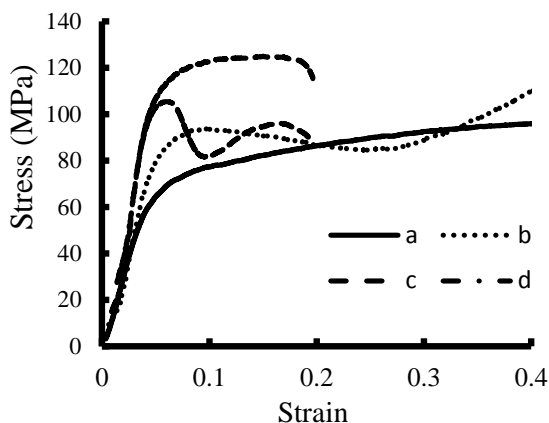
### 3-نتایج و بحث

در ابتدا درصد تخلخل کامپوزیت‌ها به روش ارشمیدس محاسبه شد. جدول 2 نتایج درصد تخلخل به دست آمده از نمونه‌های کامپوزیت شده را نشان می‌دهد. مشاهده شد که با کاهش اندازه گرانول‌ها تخلخل کامپوزیت‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه چگالی آلومینیم در تمامی نمونه‌ها تقریباً ثابت است پس می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش اندازه گرانول‌ها، کسر حجمی گرانول در کامپوزیت زیاد می‌شود و از آنجایی که چگالی آلومینا از آلومینیم بیشتر است؛ می‌توان گفت با افزایش کسر حجمی گرانول، چگالی نمونه‌ها افزایش می‌یابد و تخلخل کاهش می‌یابد.

باتوجه به نتایج جدول 2، در یک اندازه گرانول مشخص، با افزایش دمای سینترینگ تخلخل نمونه کاهش یافته است. همچنین در یک دمای سینترینگ ثابت با کم شدن اندازه گرانول مقدار تخلخل کامپوزیت کم شده است که علت آن افزایش کسر حجمی تقویت‌کننده گرانول در کامپوزیت

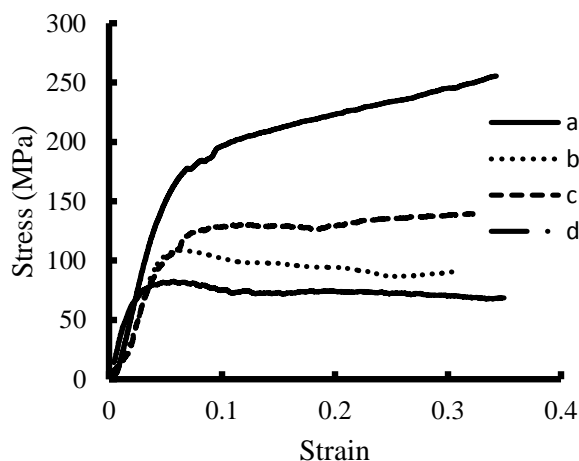
<sup>1</sup> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>2</sup> - INSTRON 4206



**Fig. 3** stress-strain curve of pressure test for composite with granules sintered in 1300 °C a) with 840  $\mu\text{m}$  granules b) with 500  $\mu\text{m}$  granules c) with 300  $\mu\text{m}$  granules d) with 150  $\mu\text{m}$  granules

شکل 3 نمودار تنش-کرنش آزمون فشار کامپوزیت‌های دارای گرانول سینتر شده در 1300 سانتیگراد (a) 840 میکرومتر (b) 500 میکرومتر (c) 300 میکرومتر (d) 150 میکرومتر



**Fig. 4** stress-strain curve of pressure test for composite with granules sintered in 1400 °C a) with 840  $\mu\text{m}$  granules b) with 500  $\mu\text{m}$  granules c) with 300  $\mu\text{m}$  granules d) with 150  $\mu\text{m}$  granules

شکل 4 نمودار تنش-کرنش آزمون فشار کامپوزیت‌های دارای گرانول سینتر شده در 1400 سانتیگراد (a) 840 میکرومتر (b) 500 میکرومتر (c) 300 میکرومتر (d) 150 میکرومتر

نتایج آزمون ضربه که در جدول 3 آمده است این امر را نشان می‌دهد که با بزرگتر شدن اندازه گرانول در کامپوزیت‌ها به علت افزایش تخلخل، انرژی شکست کاهش می‌یابد. همچنین در یک اندازه مشخص با افزایش دمای سینترینگ به علت افزایش استحکام گرانول، استحکام ضربه‌ای کامپوزیت نیز افزایش می‌یابد. تصاویر میکروسکوپ روبشی از سطح کامپوزیت‌ها در شکل‌های 5، 6 و 7 آمده است. شکل 5 نشان می‌دهد در نمونه‌های سینتر نشده به علت استحکام کم گرانول‌ها، در حین پولیش شکسته شده‌اند و در محل گرانول حفرات مشاهده می‌شود. همچنین فصل مشترک نمونه‌های سینتر نشده دارای اتصال ضعیفی می‌باشند و در درون گرانول حفرات دیده می‌شود که دلیل بر تخلخل و پایین بودن استحکام فشاری نمونه‌های سینتر نشده می‌باشد.

خواص مکانیکی کامپوزیت‌ها استفاده شد؛ از کرنش شکست و استحکام نهایی نمونه‌ها قابل مقایسه با هم نمی‌باشد. به همین دلیل استحکام تسلیم برای مقایسه خواص مکانیکی گزینه مناسبی به نظر می‌رسد.

نتایج بدست آمده از منحنی‌ها نشان می‌دهد در یک اندازه گرانول ثابت، با افزایش دمای سینترینگ به دلیل این که استحکام گرانول افزایش می‌یابد؛ در نتیجه استحکام فشاری نمونه‌های کامپوزیتی نیز افزایش می‌یابد.

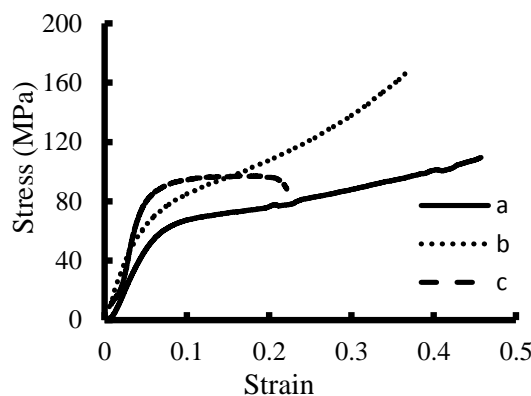
همچنین شکل‌های 2، 3 و 4 نشان می‌دهند در یک دمای سینترینگ مشخص با کم شدن اندازه گرانول، استحکام افزایش می‌یابد که این امر به دلیل افزایش کسر حجمی گرانول موجود در کامپوزیت می‌باشد. بدین معنی که هر چه درصد ماده تقویت‌کننده در کامپوزیت بیشتر شود استحکام مکانیکی کامپوزیت بیشتر می‌شود.

جدول شماره 3 استحکام تسلیم فشاری نمونه‌های کامپوزیتی را در مقایسه با هم نشان می‌دهد.

**جدول 3** استحکام تسلیم فشاری و انرژی شکست ضربه نمونه‌های کامپوزیت

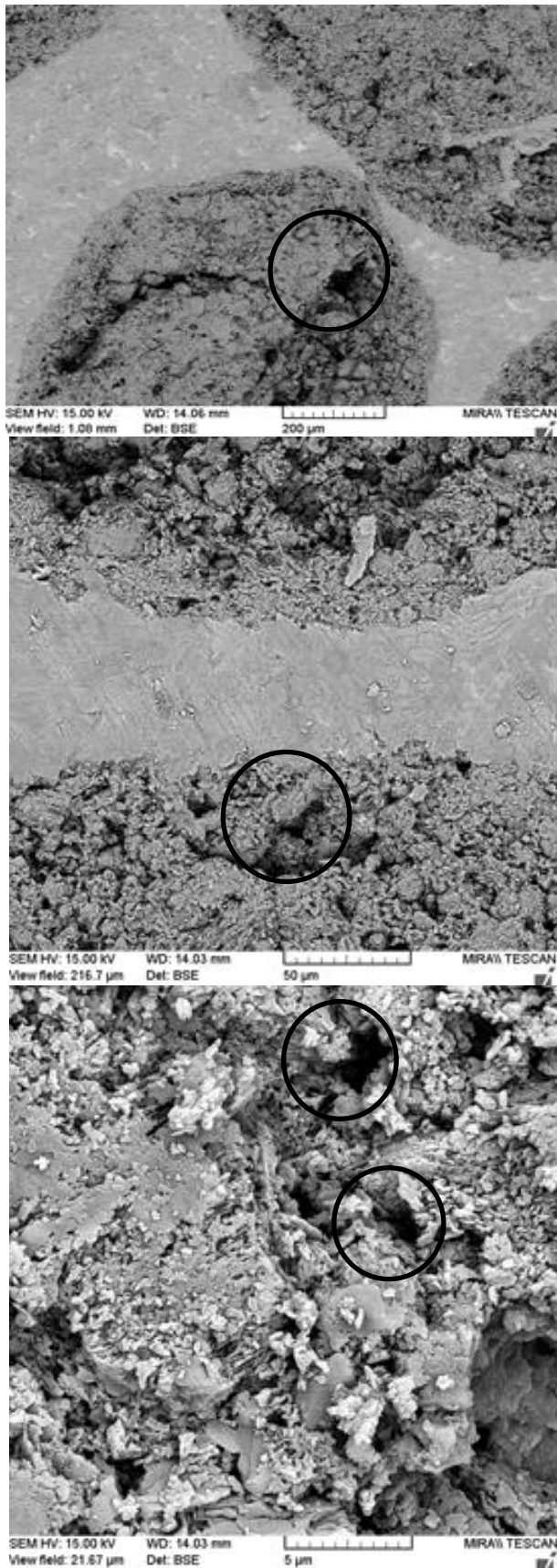
**Table 3** yield strength and impac fracture energy of sample composites

استحکام تسلیم (MPa)	انرژی شکست ضربه (ژول)	نمونه کامپوزیت با گرانول مشخص	
		اندازه گرانول	شرایط سینتر
50	0.25	840	بدون سینتر
60	0.3	500	بدون سینتر
70	0.34	300	بدون سینتر
-	0.38	150	بدون سینتر
62	0.28	840	2 hr - 1300 °C
75	0.32	500	2 hr - 1300 °C
85	0.36	300	2 hr - 1300 °C
95	0.4	150	2 hr - 1300 °C
75	0.48	840	2 hr - 1400 °C
95	0.54	500	2 hr - 1400 °C
100	0.56	300	2 hr - 1400 °C
160	0.6	150	2 hr - 1400 °C



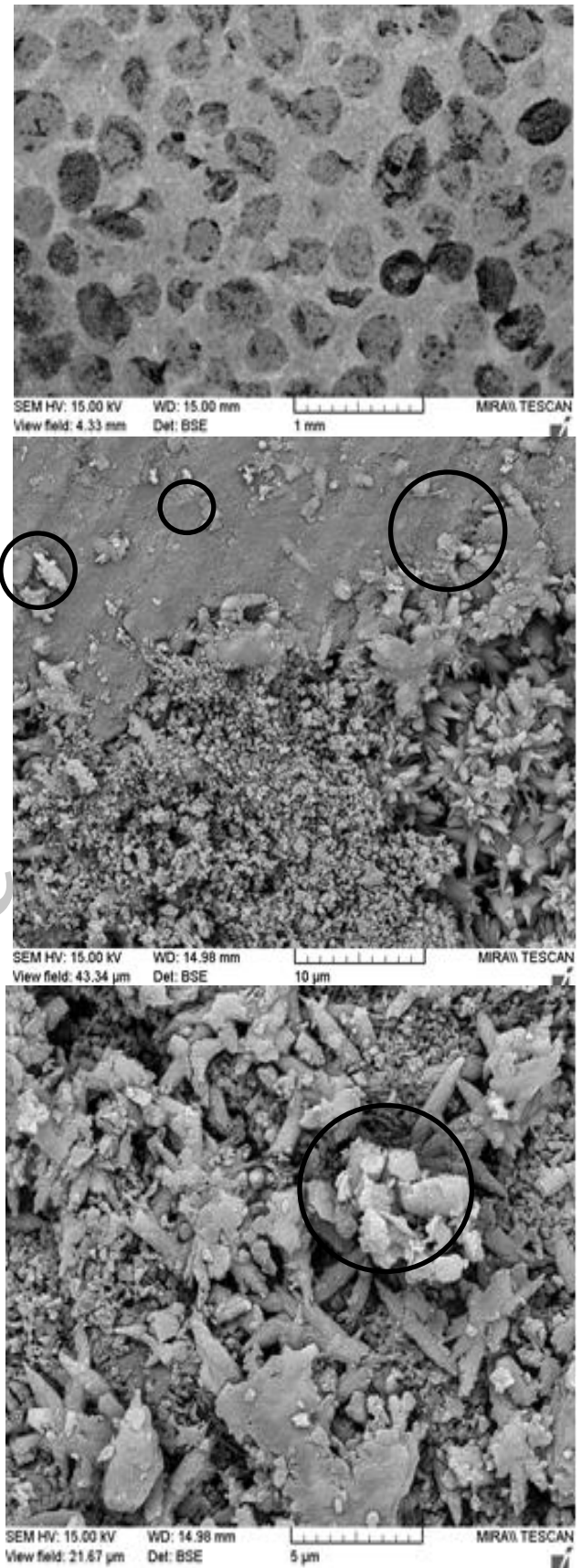
**Fig. 2** stress-strain curve of pressure test for composite with non-sintered granules a) with 840  $\mu\text{m}$  granules b) with 500  $\mu\text{m}$  granules c) with 300  $\mu\text{m}$  granules

شکل 2 نمودار تنش-کرنش آزمون فشار کامپوزیت‌های دارای گرانول سینتر نشده (a) 840 میکرومتر (b) 500 میکرومتر (c) 300 میکرومتر



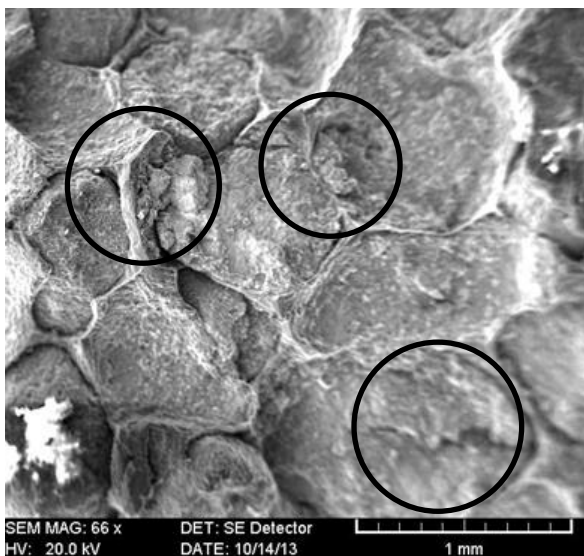
**Fig. 6** SEM image of composite with sintered granules in 1300°C (500 μm diameter)

شکل 6 تصویر میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت آلومینیم-گرانول آلومینا با گرانول 500 میکرومتر و سینتر شده در 1300 سانتیگراد



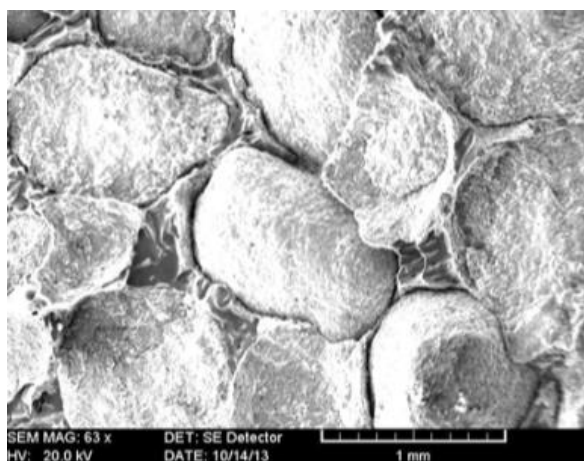
**Fig. 5** SEM image of composite with non-sintered granules (500 μm diameter)

شکل 5 تصویر میکروسکوپ الکترونی روشی کامپوزیت آلومینیم-گرانول آلومینا (سینتر نشده) با اندازه گرانول 500 میکرومتر



**Fig. 8** SEM image of cross section fracture of composite with sintered granules in 1300°C (500 μm diameter)

شکل 8 تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح مقطع شکست برای کامپوزیت با گرانول آلومینا سینتر شده در دمای 1300 سانتیگراد و 500 میکرومتر



**Fig. 9** SEM image of cross section fracture of composite with sintered granules in 1400°C (840 μm diameter)

شکل 9 تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح مقطع شکست برای کامپوزیت با گرانول آلومینا سینتر شده در دمای 1400 سانتیگراد و 840 میکرومتر

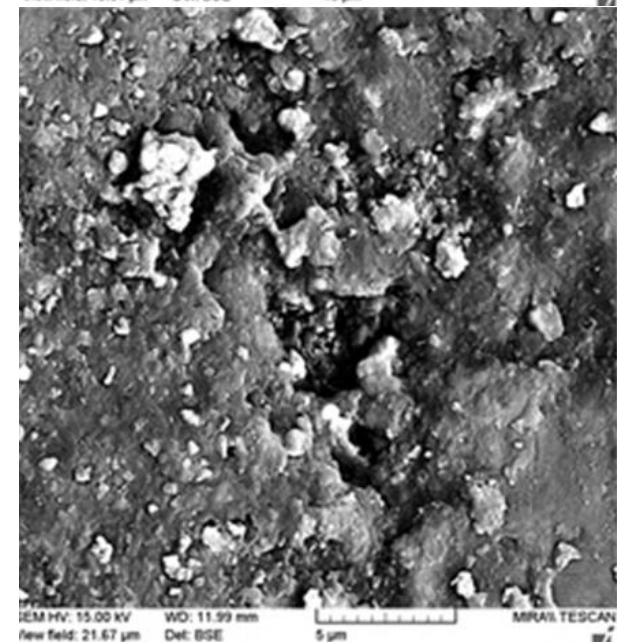
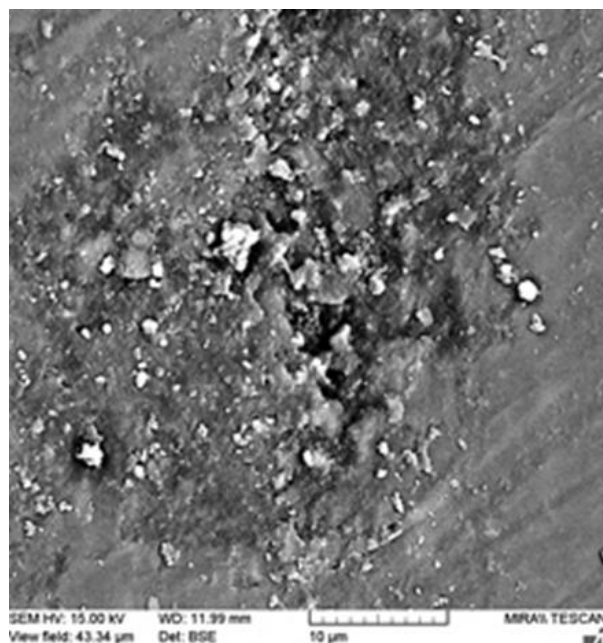
شکل 8 نشان می دهد تقریباً تمام گرانول ها دچار شکست شده اند که این دلیل بر پایین بودن استحکام گرانول و انجام سینترینگ ناقص می باشد. همچنین مشاهده می شود که شکست فاز زمینه به صورت نرم اتفاق افتاده است. شکل 9 نشان می دهد تعداد کمتری از گرانول ها از درون شکسته اند که نشان دهنده استحکام بالای این گرانول ها و سینترینگ کامل تر نسبت به دمای 1300 می باشد. شکست فاز زمینه هم مانند تصویر قبلی به صورت نرم اتفاق افتاده است.

#### 4-نتیجه گیری

با توجه به آزمون های انجام شده و بررسی های صورت گرفته در این تحقیق نتایج کلی به صورت زیر به دست آمد:

تصاویر گرفته شده از نمونه های سینتر شده در دمای 1300 سانتیگراد که در شکل 6 آمده است؛ نشان می دهد سینتر به طور کامل انجام نشده است و هنوز حفراتی در درون گرانول ها دیده می شود اما نسبت به نمونه های سینتر نشده میزان حفرات کمتر شده است. همچنین تصاویر فصل مشترک نشان از پیوند بهتری بین زمینه و فصل مشترک نسبت به نمونه های سینتر شده دارد.

در شکل 7 نیز مشاهده می شود که با افزایش دمای سینترینگ به 1400 سانتیگراد، مقدار تخلخل در گرانول ها کم شده است و از این رو، این. همچنین در نمونه های سینتر شده اتصال دایمی بین ذرات آلومینا ایجاد می شود که این موارد باعث افزایش استحکام فشاری این کامپوزیت ها شده است.



**Fig. 7** SEM image of composite with sintered granules in 1400°C (500 μm diameter)

شکل 7 تصویر میکروسکوپ الکترونی کامپوزیت آلومینیم-گرانول آلومینا با گرانول 500 میکرومتر و سینتر شده در 1400 سانتیگراد

- by Powder Metallurgy Technique and Evaluating Mechanical Properties," Perspectives in Science, Vol. 8, pp. 428-431, 2016.
- [16] Hodder, K. J. and Izadi, H. and McDonald, A. G. and Gerlich, A. P., "Fabrication Of Aluminum–Alumina Metal Matrix Composites Via Cold Gas Dynamic Spraying at Low Pressure Followed by Friction Stir Processing," Materials Science and Engineering: A, Vol. 556, pp. 114-121, 2012.
- [17] Wu, C. and Ma, K. and Wu, J. and Fang, P. and Luo, G. and Chen, F. and Shen, Q. and Zhang, L. and Schoenung, J. M. and Lavernia, E. J., "Influence of Particle Size and Spatial Distribution of B<sub>4</sub>C Reinforcement on The Microstructure and Mechanical Behavior of Precipitation Strengthened Al Alloy Matrix Composites," Materials Science and Engineering: A, Vol. 675, pp. 421-430, 2016.
- [18] Zare, H. and Jahedi, M. and Toroghinejad, M. R. and Meratian, M. and Knezevic, M., "Compressive, Shear, and Fracture Behavior of CNT Reinforced Al Matrix Composites Manufactured by Severe Plastic Deformation," Materials and Design, Vol. 106, pp. 112-119, 2016.
- [19] Rahimian, M. and Parvin, N. and Ehsani, N., "Investigation of Particle Size and Amount of Alumina on Microstructure and Mechanical Properties of Al Matrix Composite Made by Powder Metallurgy," Materials Science and Engineering A, Vol. 527, pp. 1031-1038, 2010.
- [20] Alhajeri, S. N. and Al-Fadhalah, K. J. and Almazrouee, A. I. and Langdon, T. G., "Microstructure Andmicrohardness of an Al-6061 Metal Matrix Composite Processed by High-Pressure Torsion," Materials Characterization, Vol. 118, pp. 270-278, 2016.
- [21] Saleh, K. and Vialatte, L. and Guigon, P., "Wet Granulation in a Batch High Shear Mixer," Chemical Engineering Science, Vol. 60, pp. 3763-3775, 2005.
- [22] Lin, C. S. and Lin, S. T., "Effects of Granule Size and Distribution on the Cold Isostatic Pressed Alumina," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 201, pp. 657-661, 2008.
- [23] Shafiee Afarani, M. and Samimi, A. and Bahadori Yekta, E., "Synthesis of Alumina Granules by High Shear Mixer Granulator: Processing and Sintering," Powder Technology, Vol. 237, pp. 32-40, 2013.
- به طور کلی با افزایش دمای سینترینگ گرانولها، تخلخل نمونهها کاهش یافته و خواص مکانیکی ( استحکام فشاری و سختی ) کامپوزیت‌های حاوی گرانول آلومینا بهبود یافته است.
  - مقدار چگالی و استحکام فشاری کامپوزیت‌ها بعد از سینترینگ گرانول-ها افزایش می‌یابد.
  - با بزرگتر شدن اندازه گرانول آلومینا در کامپوزیت‌های تولید شده، چون میزان تخلخل درون و بین گرانول‌ها بیشتر می‌شود، در نتیجه استحکام فشاری و انرژی مورد نیاز برای شکسته شدن کامپوزیت در اثر ضربه کاهش می‌یابد.
  - تحلیل‌های ریز ساختاری از سطح مقطع شکست نمونه‌ها نشان می‌دهد که هم شکست بین دانه‌ای و هم شکست درون دانه‌ای رخ می‌دهد. با افزایش دمای سینترینگ تعداد شکست از درون دانه‌های گرانول کاهش یافته است که نشان‌دهنده افزایش استحکام گرانول‌ها می‌باشد.
- 5-مراجع**
- [1] Roudini, G. and Asgharian, A. and Khosravi, M., "High Volume Fraction Aluminum /Alumina-Fused Silica Hybrid Particulate Metal Matrix Composite," Advanced Materials Research, Vol. 701, pp. 3-7, 2013.
- [2] Sharma, P. and Sharmab, S. and Khandujaa, D., "A Study on Microstructure of Aluminium Matrix Composites," Journal of Asian Ceramic Societies, Vol. 3, pp. 240-244, 2015.
- [3] Bodunrina, O. M. and Alanemea, K. K. and Chownb, L. H., "Aluminium Matrix Hybrid Composites: a Review of Reinforcement Philosophies; Mechanical, Corrosion and Tribological Characteristics," Journal of Materials Research and Technology, Vol. 4, pp. 434-445, 2015.
- [4] Rosso, M., "Ceramic and Metal Matrix Composites: Routes and Properties," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 175, pp. 364-375, 2006.
- [5] Chawla, N. and Chawla, K. K., "Metal Matrix Composites," Springer, New York, 107, 2006.
- [6] Singh, J. and Chauhan, A., "Characterization of Hybrid Aluminum Matrix Composites for Advanced Applications– a Review," Journal of Materials Research and Technology, Vol. 5, pp. 159-169, 2016.
- [7] Sharma, S., "The sliding Wear behavior of Al 6061-garnet Particulate composites," Wear, Vol. 249, pp. 1036-45, 2001.
- [8] Avettand-Fènoël, M. N. and Simar, A., "A Review About Friction Stir Welding of Metal Matrix Composites," Materials Characterization, Vol. 120, pp. 1-17, 2016.
- [9] Khoramkhorshid, S. and Alizadeh, M. and Taghvaei, A. H. and Scudino, S., "Microstructure and Mechanical Properties of Al-Based Metal Matrix Composites Reinforced With Al<sub>84</sub>Gd<sub>6</sub>Ni<sub>7</sub>Co<sub>3</sub> Glassy Particles Produced by Accumulative Roll Bonding," Materials and Design, Vol. 90, pp. 137-144, 2016.
- [10] Kaczmar, J. W. and Pietrzakb, K. and WoosinÅskic, W., "The Production and Application of Metal Matrix Composite Materials," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 106, pp. 58-67, 2000.
- [11] Pandi, G. and Muthusamy, S., "A Riew on Machining and Tribological Behaviors of Aluminium Hybrid Composites," Procedia Engineering, Vol. 38, pp. 1399-1408, 2012.
- [12] Zabihi, M. and Toroghinejad, M. R. and Shafyei, A., "Shear Punch Test in Al/Alumina Composite Strips Produced by Powder Metallurgy and Accumulative Roll Bonding," Materials Science and Engineering A, Vol. 667, pp. 383-390, 2016.
- [13] Kouzeli, M. and Dunand, D. C., "Effect of Reinforcement Connectivity on The Elasto-Plastic Behavior of Aluminum Composites Containing Sub-Micron Alumina Particles," Acta Mater, Vol. 51, pp. 6105-6121, 2003.
- [14] Dabade, U. A. and Jadhav, M. R., "Experimental Study of Surface Integrity of Al/SiC Particulate Metal–Matrix Composites in Hot Machining," Procedia CIRP, Vol. 41, pp. 914-919, 2016.
- [15] Bodukuri, A. K. and Eswaraiiah, K. and Katla Rajendar, K. and Sampath, V., "Fabrication of Al-Sic-B<sub>4</sub>C Metal Matrix Composite

Archive of SID