بررسی عوامل مؤثر بر سنتز و خواص کامپوزیت‌های آلومینا–آلومینیم

نعمت‌اله صحرانژاد[۱]، حسین سرپولکی[۱]، حمیدرضا رضایی[۱]، سعید کاویانی[۲]

[۱] دانشکده مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

[۲] دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه امام حسین (ع)

hsarpoolaki@gmail.com

چکیده: *در این تحقیق اثر دما و زمان عملیات حرارتی بر روی خواص کامپوزیت‌های آلومینا–آلومینیوم، ریزساختار تشکیل شده و مرز مشترک آلومینا با آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا پودر آلومینا همراه با مقادیر مختلفی پودر آلومینیوم در درصدهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و ۵ درصد رطوبت مخلوط شده و توسط پرس شکل داده شد. برای بررسی اثر دما بدنه‌های شکل داده شده در دماهای ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و۱۴۵۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. همچنین به منظور بررسی اثر زمان در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد نمونه‌ها در زمان‌های ۱،۵، ۳، ۴،۵ و۶ ساعت پخت شدند. بررسی ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در مرز مشترک و همچنین میزان اکسیداسیون آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت. اثر دما و زمان بر خواص فیزیکی، مکانیکی و آنالیز فازی توسط پراش اشعه ایکس (XRD) نیز بررسی شد.*

۱– مقدمه

امروزه کامپوزیت‌ها در تمام دنیا به عنوان مواد مهندسی کاربرد سازه‌ای پیدا کرده‌اند[۱]. کامپوزیت‌ها در نوعی تقسیم‌بندی از نظر زمینه به سه گونه زمینه فلزی، پلیمری و سرامیکی تقسیم بندی می‌شوند[۲].

کامپوزیت‌های زمینه فلزی دارای پتانسیل زیادی برای استفاده در کاربردهای سازه‌ای می‌باشند[۳]. اما به دلیل هزینه بالاتر در مقایسه با آلیاژهای فلزی، استفاده از آنها به کاربردهای با هزینه مناسب و موثر محدود شده است[۴]. از کامپوزیت‌های زمینه پلیمری هم در صنایع هواپیمائی، اتومبیل سازی، پزشکی و الکترونیک استفاده می‌شود[۵].

اما در مورد کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی باید اشاره کرد، نقطه ذوب بالا، استحکام فشاری فوق العاده، حفظ ویژگی‌های رفتاری و ذاتی در دماهای بالا و همچنین مقاومت به خوردگی عالی، از خصوصیات برجسته مواد سرامیکی می‌باشند. اما چنانچه مشخص شده است امروزه موادی در صنعت استفاده می‌شوند که خصوصیاتی چون استحکام کششی، مقاومت به ضربه، مقاومت به ارتعاش و شوک حرارتی آنها نیز بالا می‌باشدکه عدم وجود اینگونه خواص از نقاط ضعف آنها است که می‌بایست در صورت امکان اصلاح گردند[۶]. لذا برای رسیدن به این خواص کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی که از مواد مختلف با پایه سرامیک شکل گرفته‌اند، از جمله آلومینا– سیلیکون کاربایدِ، آلومینا– پیرکس، آلومینا و انواع فلزات، مو لایت– سیلیکون کاربایدِ و غیره ساخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. از کاربردهای این نوع کامپوزیت‌ها می‌توان به صنایع هوا فضا، قطعاتی چون مشعل‌ها، عایق‌ها و سپرهای حرارتی، صنایع پزشکی در ساخت اعضای مصنوعی بدن و تولید ابزار آلات، در عایق‌های حرارتی ابزار برش و قالب‌های کشش سیم اشاره نمود[۷،۸].

روش‌های مختلف ساخت کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی عبارتند از: ساخت بدنه سرامیکی و تزریق به درون آن، روش اکسیداسیون مستقیم، روش اکسیداسیون درجا (In-situe) و... [۷]. در این تحقیق از روش

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]

اکسیداسیون درجا با اختلاط پودر آلومینا و آلومینیوم استفاده شد و اثر دما و زمان بر روی خـواص کامپوزیـت ساخته شده بررسی گردید.

۲- فعالیت‌های تجربی

مواد اولیه مصرفی و خواص آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مواد اولیه مصرفی و خواص آنها

ردیف	مواد اولیه	خلوص (درصد)	دانه بندی
۱	پودر ریز آلومینای راکتیو Alcan Ra36	۹۹	زیر ۳۰ میکرون
۲	پودر ریز آلومینیوم	۹۹	زیر ۵۰ میکرون
۳	پودر چسب CMC	-	-

به منظور ساخت کامپوزیت Al_2O_3/Al در ابتدا پودرآلومینا و آلومینیوم به صورت خشک با سه ترکیـب مختلـف ۲۰،۱۰ و ۳۰ درصد Al مخلوط شدند. پس از اختلاط پودرهای آلومینا و آلومینیوم، محلول حاوی چسب CMC ۱۰ درصد، به میزان ۵ درصد در هر ترکیب اضافه شد. برای جلوگیری ازگرانول شدن نـا مـنظم ذرات، بعـد از پخش کردن دستی پودرها، الک در چند مرتبه متوالی انجام شد. در غیر ایـن صـورت ذرات پـودر در اطـراف قطره‌های چسب جمع شده و پخش ذرات به صورت غیر همگن در هنگام پـرس مـشکل سـاز خواهـد شـد. ترکیب حاصل شده، به مدت ۲۴ ساعت جهت عمل aging نگهداری گردید. پس از این مرحله پودرحاصل در اندازه‌های یکسان (حدود ۱ یا ۲ گرمی) وزن شده ودر داخل قالب استوانه‌ای شکل به قطر ۱ سانتیمتر ریختـه و پرس با فشار bar ۱۰۰ انجام شد. نمونه‌های قرصی شکل تهیه شده از ترکیبات مختلف جهت بررسـی اثـر دما در دماهای مختلف ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۵۰ درجه سـانتیگراد در کـوره پخـت شـدند. سرعت پخت ۱۰ درجه سانتیگراد بردقیقه و زمان ماندن در بالاترین دما ۳ ساعت بـود. همچنـین بـه منظـور بررسی اثر زمان بر روی خواص کامپوزیت چند نمونه در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد در زمان‌هـای مختلـف ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ ساعت با همان سرعت پخت ۱۰ درجه سـانتیگراد بـر دقیقـه پخـت شـدند. بـرای بررسـی استحکام کامپوزیت هم مقداری پودر بچ اولیه آماده شده در داخل قالـب مکعبـی بـا ابعـاد داخلـی ۸ × ۸ × ۲ سانتیمتر ریخته شد و بعد از پرس با فشار bar ۱۰۰ مانند سیکل‌های ذکر شده برای نمونه‌های قرصی شـکل پخت شدند. بعد از پخت، چند نمونه قرصی شکل تهیه شده از ترکیب‌های مختلف، مانت سـرد شـده و آنـالیز ریز ساختاری توسط (SEM) با دستگاه مدل Cambridge 360 انجام گردید. همچنین به منظور بررسی آنـالیز فازی از ترکیبات مختلف پخت شده در دماها و زمان‌های مختلف پودر ریز تهیه شده و مطالعه فـازی توسـط دستگاه XRD مدل JEOL-JDX-8030 انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

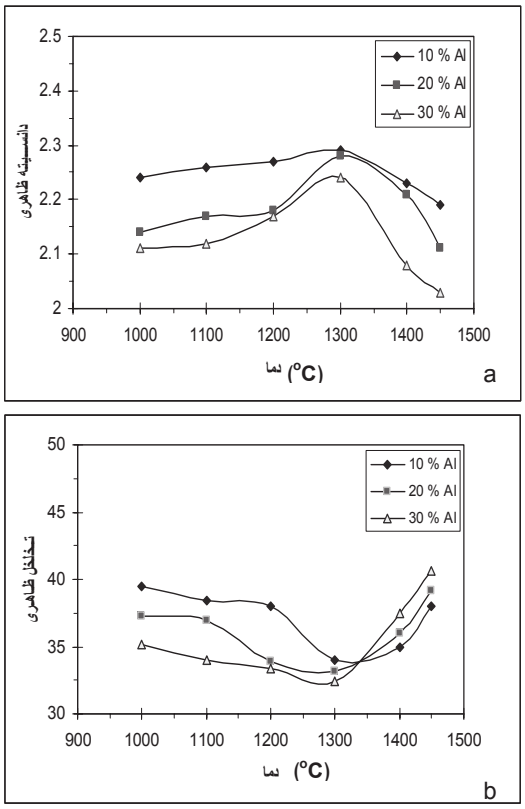
۳-۱-اثر دما و زمان بر چگالی وتخلخل

به منظور بررسی اثر دما برروی چگالی ظاهری، چگالی کلی و تخلخل ظاهری، نتایج حاصل برای نمونه‌هـای بـا درصـدهای مختلـف Al و زینتـر شـده در دماهـای ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۵۰ درجـه سانتیگراد در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ (a) نشان داده شده است.

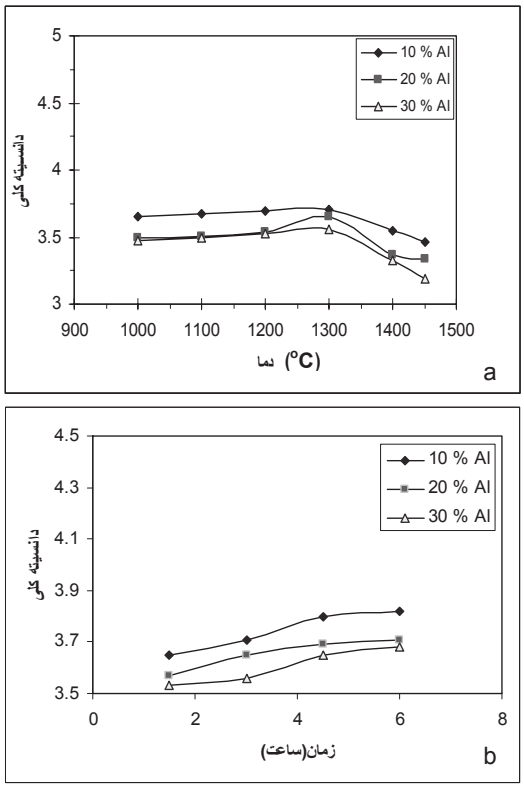
همانطوریکه در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود در درصد ثابت Al با افزایش دما چگالی ظاهری و کلـی تـا $1300^{o}C$ افزایش یافته و سپس شروع به کاهش می‌نماید. از طرفی در شکل ۱(b) با افزایش دمای پخت تخلخل ظاهری تـا دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد کم شده و سپس شروع به افزایش می‌نماید. همچنین از شکل‌های ۱، ۲ و۳ ملاحظـه می‌شود در دماهای ثابت پخت با افزایش درصد آلومینیوم چگالی و تخلخل کاهش می‌یابند.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]



شکل ۱- اثر دما بر روی a) چگالی ظاهری و b) تخلخل ظاهری در کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد Al



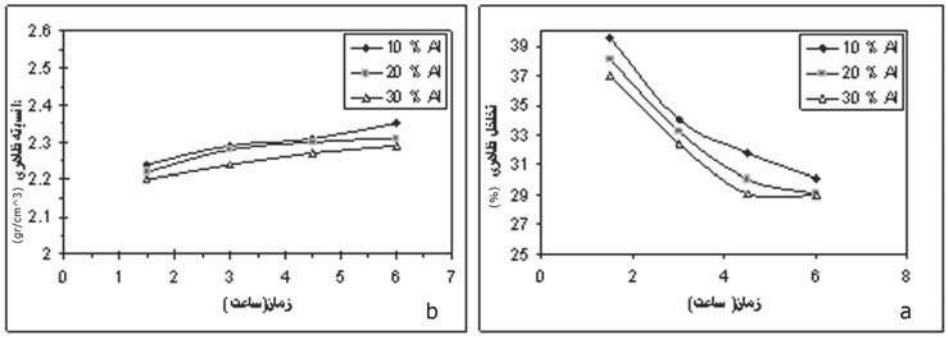
شکل ۲- a) اثر دما و b) اثر زمان بر روی چگالی کلی در کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ۱۰،۲۰ و ۳۰ درصد Al

برای بررسی اثر زمان نتایج حاصل مربوط به نمونه‌های پخته شده در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد با زمان‌های پخت ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ ساعت در این دما در شکل‌های ۲(b) و ۳ آورده شده است.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]

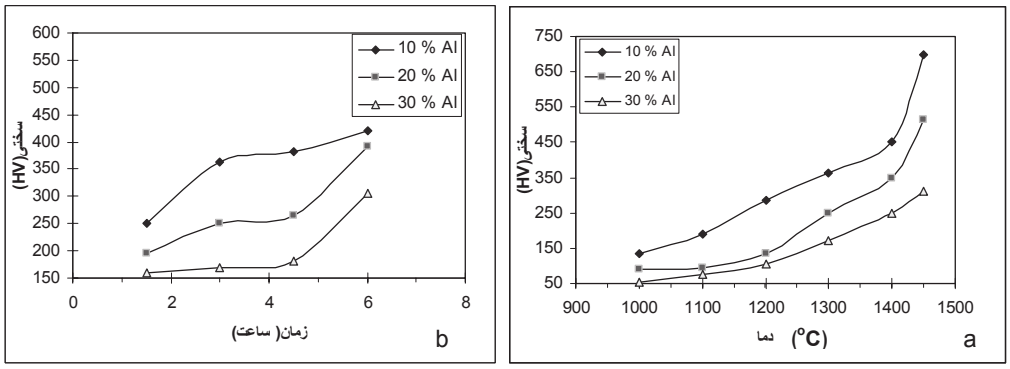
در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود که با افزایش زمان پخت در درصدهای ثابت آلومینیوم چگالی ظاهری و کلی افزایش یافته و تخلخل کاهش می‌یابد.



شکل ۳– a) اثر زمان بر روی چگالی ظاهری و b) اثر زمان بر روی تخلخل ظاهری در کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد Al

۳-۲-اثر دما و زمان بر سختی

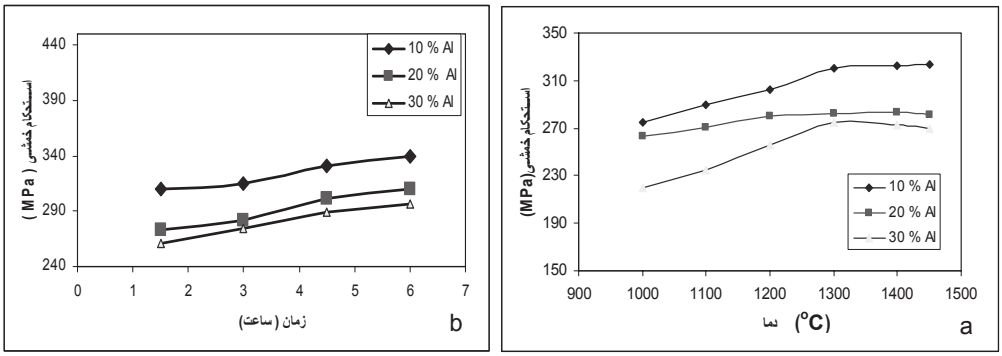
در ادامه نتایج مربوط به نمونه‌های با ترکیب‌های مختلف پخته شده در دماها و زمان‌های مختلف آورده شده است. در شکل ۴ ملاحظه می‌شود با افزایش دما و زمان در ترکیب‌های یکسان سختی افزایش یافته است. از طرفی در دما و زمان پخت یکسان با افزایش درصد آلومینیوم سختی کاهش یافته است.



شکل ۴– a) اثر دما و b) اثر زمان بر روی سختی در کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد Al

۳-۳-اثر دما و زمان بر استحکام خمشی

نتایج مربوط به استحکام خمشی نمونه‌های با ترکیب‌های مختلف و اثر دما و زمان پخت بر روی استحکام خمشی آنها در شکل ۵ آورده شده است. ملاحظه می‌شود با افزایش دما و زمان پخت در درصدهای ثابت آلومینیوم استحکام افزایش یافته است. همچنین در دما و زمان پخت یکسان با افزایش درصد آلومینیوم استحکام خمشی کامپوزیت کاهش یافته است.



شکل ۵– a) اثر دما و b) اثر زمان بر استحکام خمشی در کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد Al

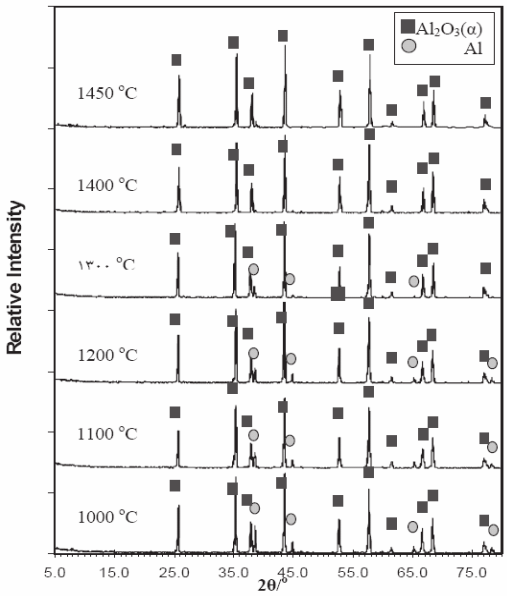
[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]

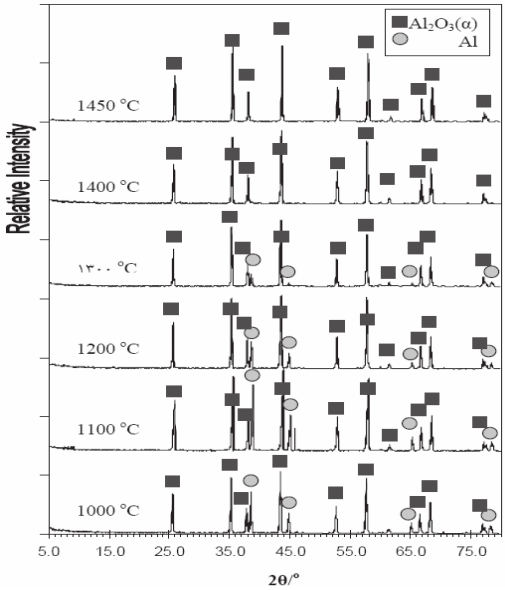
۳-٤-بررسی‌های فازی

مطالعه ترکیب کامپوزیت Al_2O_3/Al توسط الگوی پراش اشعه ایکس انجام گرفت. همانگونه که در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ ملاحظه می‌گردد، فازهای نهایی موجود در بدنه Al و Al_2O_3 می‌باشند. که البته با بررسی شدت این پیک‌ها ملاحظه می‌شود، نوع فاز آلومینا در دماهای ۱۰۰۰ تا ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد (α) بوده و Al_2O_3 در این دماها تغییرات فازی نداشته است که این مورد در ادامه بحث در شکل ۱۲ هم ملاحظه می‌شود. همچنین در اشکال ۶، ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود که در هر سه ترکیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد Al با افزایش دما شدت پیک‌های Al کم شده و شدت پیک‌های Al_2O_3 افزایش می‌یابند.

همچنین در شکل ۹ هم ملاحظه می‌شود در دمای ثابت، با افزایش زمان زینتری به عنوان پارامتر متغیر میزان اکسیداسیون افزایش یافته و با کاهش شدت پیک‌های Al بر شدت پیک‌های Al_2O_3 افزوده می‌شود.



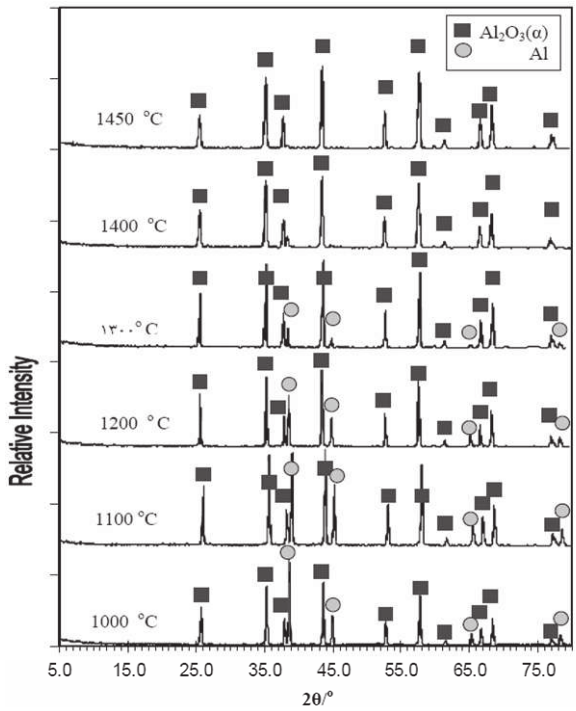
شکل ۶- الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ٪Al ۱۰ زینتر شده در دماهای ۱۰۰۰،۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد و زمان ماندن ۳ ساعت در دمای ماکزیمم



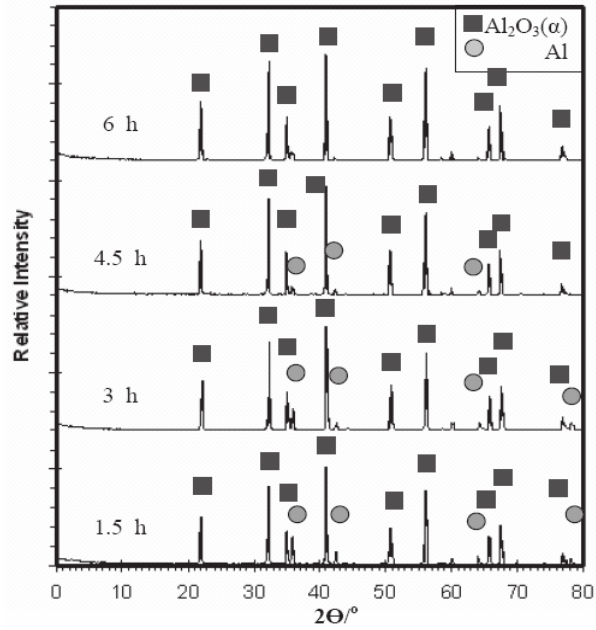
شکل ۷- الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ٪Al ۲۰ زینتر شده در دماهای ۱۰۰۰، ۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد و زمان ماندن ۳ ساعت در دمای ماکزیمم

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]



شکل ۸- الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ٪Al ۳۰ زینتر شده در دماهای ۱۰۰۰،۱۱۰۰، ۱۲۰۰، ۱۳۰۰، ۱۴۰۰ و ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد و زمان ماندن ۳ ساعت در دمای ماکزیمم



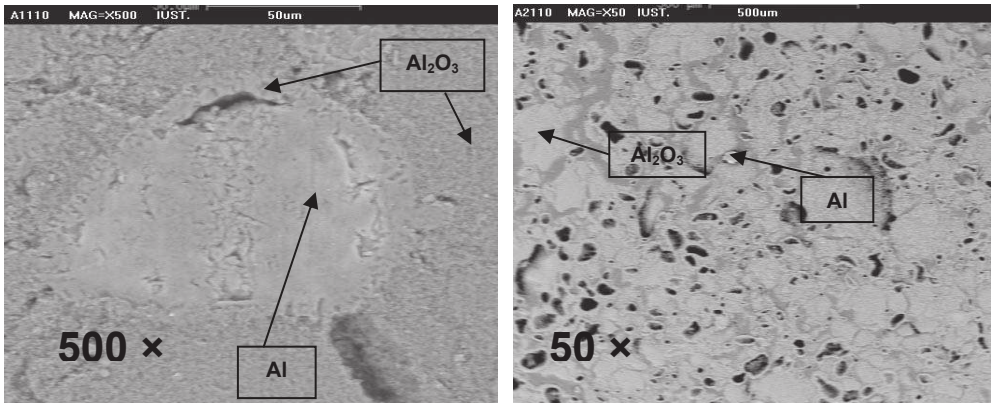
شکل ۹- الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت Al_2O_3/Al با ترکیب ٪Al ۲۰ زینتر شده در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد و زمان‌های ماندن ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ ساعت در دمای ماکزیمم

۳-۵-بررسی‌های ریزساختاری

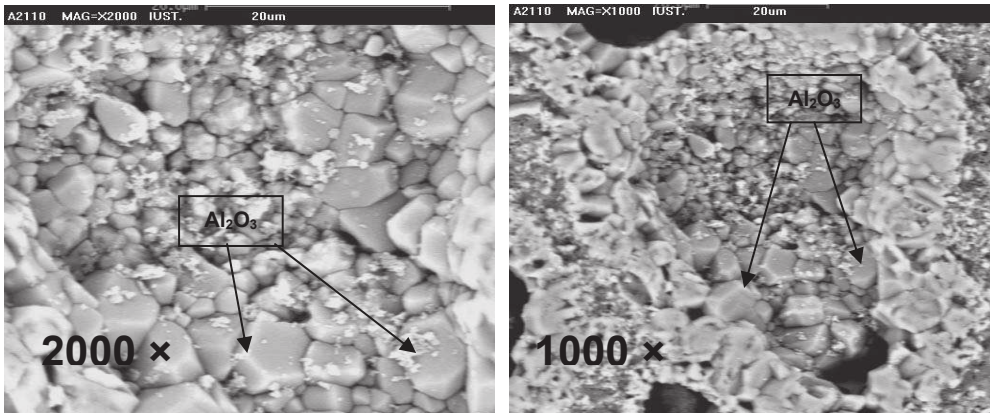
جهت بررسی ریز ساختار کامپوزیت Al_2O_3/Al تصاویر SEM چند نمونه در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ (a , b) مشاهده می‌گردد. شکل ۱۰ توزیع ذرات آلومینیومی در بین ذرات آلومینایی، قرار گرفتن ذرات فلزی در زمینه آلومینایی و اکسیداسیون این ذرات از سطح را نشان می‌دهد. شکل ۱۱ هم اکسیداسیون ذره فلزی آلومینیوم و ساختار اکسید آلومینیوم تشکیل شده را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]



شکل ۱۰-(aوb) تصویر SEM کامپوزیت (۱۰٪Al) Al_2O_3/Al، زینتر شده در دمای ۱۴۰۰°C و ۳ ساعت زمان ماندن در دمای ماکزیمم



شکل ۱۱-(aوb) تصویرSEM کامپوزیت (۱۰٪Al) Al_2O_3/Al، زینتر شده در دمای ۱۴۵۰ °C و ۳ ساعت زمان ماندن در دمای ماکزیمم

همانطوریکه از نتایج حاصل در شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود، دما و زمان تاثیرات متفاوتی بر خواص کامپوزیت دارند. اثر این دو پارامتر را می‌توان از طریق تاثیر بر عوامل مختلف مانند ترشوندگی ذرات جامد توسط مذاب، اکسیداسیون ذرات آلومینیومی موجود در زمینه آلومینایی، اختلاف ضریب انبساط حرارتی زمینه و تقویت کننده، اختلاف چگالی دو فاز، تغییرات فازی آلومینا در دماهای مختلف و بویژه فصل مشترک دو فاز زمینه و تقویت کننده دانست.

تغییرات فازی آلومینا در شکل۱۲ نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می‌شود فاز γ تا دمای زیر ۱۰۰۰°C پایدار بوده و پس از این دما به فاز α تبدیل می‌شود. صحت این گفته در نتایج حاصل از الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت‌ها در شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ و منابع مختلف مورد تایید می‌باشد[۹].

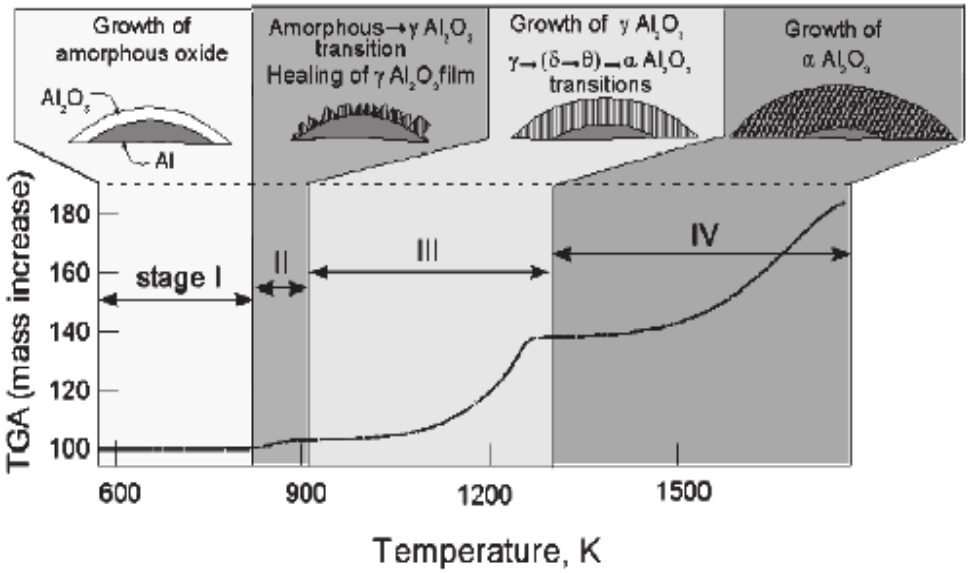
همچنین در شکل۱۳ نحوه تشکیل لایه اکسیدی، نفوذ مولکول‌های اکسیژن در این لایه و افزایش میزان اکسیداسیون با تغییر دما و زمان نشان داده شده است.

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ لایه اکسیدی در اطراف ذره آلومینیومی طبق شکل شماتیک ۱۳ مشاهده می‌شود. با ایجاد این لایه اکسیدی عامل موثر بر اکسیداسیون میزان نفوذ مولکول‌های اکسیژن در این لایه می‌باشد. دو پارامتر دما و زمان عوامل موثر بر میزان نفوذ و در نتیجه اکسیداسیون می‌باشند.

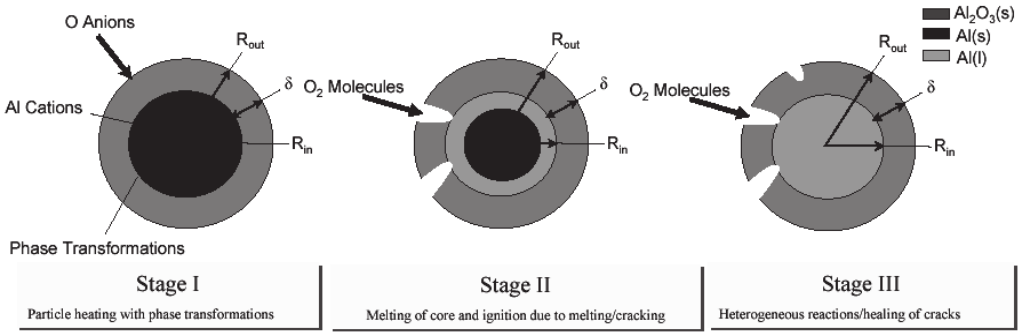
در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ لایه اکسیدی در اطراف ذره آلومینیومی طبق شکل شماتیک ۱۳ مشاهده می‌شود. با ایجاد این لایه اکسیدی عامل موثر بر اکسیداسیون میزان نفوذ مولکول‌های اکسیژن در این لایه می‌باشد. دو پارامتر دما و زمان عوامل موثر بر میزان نفوذ و در نتیجه اکسیداسیون می‌باشند.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]



شکل ۱۲- تغییرات فازی آلومینا در اثر افزایش دما [۶]



شکل ۱۳- مراحل اکسیداسیون ذره الومینیومی و نحوه نفوذ اکسیژن در لایه اکسیدی [۶]

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ لایه اکسیدی در اطراف ذره آلومینیومی طبق شکل شماتیک ۱۳ مشاهده می‌شود. با ایجاد این لایه اکسیدی عامل موثر بر اکسیداسیون میزان نفوذ مولکول‌های اکسیژن در این لایه می‌باشد. دو پارامتر دما و زمان عوامل موثر بر میزان نفوذ و در نتیجه اکسیداسیون می‌باشند.

در شکل‌های ۱ و۲ با افزایش دما تا ۱۳۰۰°C اکسیداسیون افزایش یافته و با افزایش جرم کامپوزیت چگالی افزایش یافته است. از طرفی با افزایش میزان نفوذ و قویتر شدن پیوند میان ذرات تقویت کننده و زمینه تخلخل کاهش می‌یابد. اما به نظر می‌آید با بالاتر رفتن دما و پیشرفت اکسیداسیون به علت کاهش فاز مذاب میزان تخلخل‌ها افزایش یافته و چگالی کاهش می‌یابد. البته می‌توان به ترک‌های حاصل در اثر افزایش دما و ناشی از اختلاف ضریب انبساط حرارتی Al و Al_2O_3، و در همین راستا همانطوریکه در شکل ۵ ملاحظه می‌شود با افزایش جرم کامپوزیت در اثر اکسیداسیون، استحکام با افزایش دما تا دمای ۱۳۰۰°C افزایش یافته و در ادامه با زیادشدن تخلخل و افزایش ترک‌های حاصل استحکام کاهش می‌یابد.

در شکل‌های اشاره شده ملاحظه می‌شود در دماها و زمان‌های یکسان پخت، با افزایش درصد فاز آلومینیوم با اینکه در اثر افزایش فاز مذاب تخلخل کاهش می‌یابد، اما به علت افزایش نسبت فاز با چگالی پایین‌تر (آلومینیوم) به فاز با چگالی بالاتر (آلومینا) چگالی هم کاهش می‌یابد.

در شکل ۳ ملاحظه می‌شود با افزایش زمان، چگالی افزایش یافته و تخلخل کاهش می یابد. در حقیقت گام کنترل کننده نفوذ و میزان واکنش اکسیداسیون، زمان میباشد. در بررسی اثر زمان هم مشاهده می‌شود با این افزایش چگالی و کاهش تخلخل استحکام افزایش یافته است.

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]

در بررسی اثر دما و زمان بر روی سختی در شکل۴ ملاحظه می‌شود که با افـزایش دمـا و زمـان و پیـشرفت واکنش اکسیداسیون، میزان فاز سخت اکسید آلومینیوم در کامپوزیت افزایش یافته و دمـا و زمـان بـه عنـوان عوامل موثر بر اکسیداسیون سختی را افزایش می‌دهند. در شکل‌هـای فـوق ملاحظـه مـی‌شـود در دماهـا و زمان‌های یکسان، با افزایش میزان فاز نرم آلومینیوم سختی کاهش یافته است.

در تمامی خواص فوق تاثیر فصل مشترک و واکنش اکسیداسیون کاملا مشهود می‌باشـد. البتـه مـی‌تـوان در الگوی پراش اشعه ایکس کامپوزیت تولید شده سیکل واکنش اکسیداسیون و اثر دما و زمان را در شکل‌هـای ۶، ۷، ۸ و ۹ مشاهده نمود که با توضیحات داده شده مطابقت می‌نماید.

لازم به ذکر است نتایج بدست آمده در تحقیقات مشابه دیگر مقـادیر بدسـت آمـده بـرای چگـالی، تخلخـل، سختی و استحکام کششی در تحقیق حاضر را تایید می‌کند[۱۰، ۱۱ و ۱۲].

٤- نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج مربوط به الگوی پراش اشعه ایکـس (XRD) نمونـه‌هـای گرفتـه شـده در دماهـای ۱۰۰۰ تـا ۱۴۵۰°C درجه سانتیگراد، مشاهده می‌شود که با افزایش دما عمل اکـسیداسیون افـزایش یافتـه و در دمـای ۱۳۰۰ به بالا تقریباً همه Al ها به Al_2O_3 تبدیل شده و پیکـی از Al در دمـای ۱۴۰۰ °C مـشاهده نمـی‌شـود. همچنین طی عمل زینتر در دماهای ۱۰۰۰ تا ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد همه پیک‌ها نشان دهنده فار (α) بوده و پایداری فاز فوق را در این دماها نشان می‌دهد.

همچنین توزیع ذرات Al در زمینه Al_2O_3 و تخلخل‌های حاصل از اختلاف ضریب انبساط حرارتی این دو ماده در تصاویر SEM کاملاً قابل مشاهده می‌باشند.

نتایج حاصل از بررسی چگالی و تخلخل نشان می‌دهد به علت تاثیر پارامترهای مختلف، اختلاف چگالی Al و Al_2O_3، تفاوت ضریب انبساط حرارتی این دو ماده، دما، ترکیب و وابستگی آنها بـه هـم نمـی‌تـوان ترکیـب و دمای خاصی را به عنوان بهینه انتخاب نمود. اما نتیجه‌ای که از این تحقیق حاصل شده است نشان مـی‌دهـد که در دمای °C ۱۳۰۰ پایین‌ترین میزان تخلخل حاصل می‌شود.

منابع

1. Derek hull, “An Introduction to Composite Materials”, Cambridge University, (1981).
2. Tongxiang Fan and Di Zhang, “Fabrication of in situ Al_2O_3/Al composite via remelting”, Journal of Materials Processing Technology, Volume 142, Issue 2, PP 556-561(2003).
3. J. Fridlyander, “Metal matrix composites”, London, Chapman & Hall, (1995).
4. Minoru taya, “Metal matrix composites”, Oxford pergamon, (1989).
5. M.O. Richardson, “Polymer engineering composite”, (1997).
6. S. Banerjee, S. K. Roy, “Net-shape forming of bi-continuous Al_2O_3/Al composite by displacement reaction”, (2001).
7. K. Engi. K. Cha Wia, “Ceramic matrix composite”, Chapman &Hall, (1993).
8. Dickon H. L. Ng, Qing Zhao, “Formation of aluminum/alumina ceramic matrix composite by oxidizing an Al–Si–Mg alloy”, Journal of the European CeramicSociety, Volume 21, Issue 8, PP 1049-1053 (2001).
9. P. Puri and V. Yang, “Multi-Scale Modeling of Nano Aluminum Particle Ignition and Combustion, The Pennsylvanian State University, (2006).
10. J. Zhang, “Wear behavior of Lanxide Al_2O_3/Al composite”, Wear, Volume 215, Issues1-2, PP 34-39(1998).
11. A. Muntiz, M. Metzeger and R. Mehrabian, “The Interface Phase in Al-Mg/Al_2O_3 Composites”, Metal Trans. A, Vol.10A, p.1491(1979).
12. T. Das & P. Munroe, “Interfacial Behavior of 6061/Al_2O_3 Metal Matrix Composites”, Material Science and Technology, Vol.13, PP.778-784(1997).

[Downloaded from jicers.ir on 2025-06-28]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1388.5.2.1.0]