



همایش ملی - علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی ایران

مواد مهندسی

12<sup>th</sup>

Student Scientific National Conference on  
Materials and Metallurgical Engineering

### CERTIFICATE OF PRESENCE

بسمه تعالی

بدین وسیله گواهی می شود مقاله با عنوان:

CO - TiO<sub>2</sub> و TiO<sub>2</sub> تولید شده با زئیر لایه/جلا

بررسی سگرت ضرورت های نانوساخت

که به همت نویسنده مسئول: آذر اسماعیلی زایی

و نویسنده/نویسندگان همکار: سید عبدالرحیم سعادت، سحر لاریجانی، سید علی حسینی

در دوازدهمین همایش ملی مهندسی مواد و متالورژی ایران که در تاریخ ۰۴ آذر ماه ۱۳۹۴ در دانشگاه

فردوسی مشهد با حضور صنعتگران و متخصصان کشور برگزار گردید، پذیرفته و ارائه شده است.

ضمن تشکر و تقدیر از همکاری جنابعالی، امیدواریم شاهد موفقیت روز افزون شما در زمینه های گوناگون علمی باشیم.

دکتر علی حائریان اردکانی

رئیس همایش

بانک قربانان

دبیر اتحادیه متالورژی کشور





بررسی میکروساختار و رفتار سایشی نانوسرمت  
 $Al_2O_3-Co-TiO_2$  تولیدشده با زینتر پلاسمای جرقه  
ای



آذر اسمعیل زایی<sup>۱</sup>، سید عبدالکریم سجادی<sup>۲</sup>، سحر ملازاده بیدختی<sup>۳</sup>  
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد  
۲- دکتری، استاد گروه مهندسی مواد  
۳- دکتری، استادیار گروه مهندسی مواد

## چکیده

هدف از این تحقیق بررسی میکروساختار و رفتار سایشی نانو سرمت  $Al_2O_3-Co-TiO_2$  می باشد. یکی از روش های مورد توجه برای تولید سرمت ها، روش مبتنی بر متالورژی پودر می باشد. با این حال توزیع ناهمگن تقویت کننده در زمینه، دمای زینترینگ بالا، از جمله محدودیت های این فرایند می باشند. در این پژوهش به منظور کاهش این چنین محدودیت هایی برای تولید نانو سرمت  $Al_2O_3-Co-TiO_2$  پودرهای میکرو  $Al_2O_3$  و نانو ذرات  $TiO_2$  با لایه نازکی از  $Co$  توسط روش الکترولس پوشش داده شده اند. تاثیر درصد نانو ذرات  $TiO_2$  بر رفتار سایشی نانو سرمت تولید شده بررسی شده است. مورفولوژی و ترکیب شیمیایی با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به (EDS) ارزیابی شده است. همچنین مقاومت به سایش نمونه ها با استفاده از روش پین روی دیسک بررسی شد. نتایج نشان داده اند که کبالت به طور یکنواختی در زمینه توزیع شده است و همچنین اتصال مناسبی بین ذرات اکسید آلومینیوم و کبالت برقرار شده است. هم چنین مشاهده شده است که با افزودن کسر حجمی کمی از نانو ذرات تقویت کننده  $TiO_2$  در زمینه اکسید آلومینیوم، مقاومت به سایش نانو سرمت تولیدی به طور عمده ای افزایش یافته است و در دراز مدت به تدریج نرخ سایش نمونه ها کم شده است. واژه های کلیدی: نانو سرمت زمینه سرامیکی- روش الکترولس- روش تف جوشی پلاسمای جرقه ای- رفتار سایشی

## ۱- مقدمه

سرامیک های اکسید آلومینیوم به دلیل مقاومت به سایش عالی، سختی، استحکام بالا، مدول الاستیک بالا و خواص شیمیایی خوب کاربرد گسترده ای در صنایع مختلف مانند نفت و گاز، اتومبیل، هوافضا و صنایع شیمیایی دارند [۱-۲]. در چند دهه ی اخیر  $Al_2O_3$  به دلیل خاصیت زیست سازگاری به عنوان بیومواد در دندان پزشکی، پروتزهای مفصل ران و تعویض بخش های مختلف بدن انسان بسیار مورد توجه و استفاده قرار گرفته است [۳]. با این حال کاربردهای گسترده سرامیک های  $Al_2O_3$  به

دلیل پایین بودن چقرمگی شکست آنها محدود شده است. به منظور افزایش چقرمگی شکست سرامیکها، از افزودن پودرهای فلزی نرم در زمینه استفاده می شود [۴].  $Al_2O_3-Co$  از پرکاربرترین موادمکرب می باشد که حضور کبالت در کنار اکسید آلومینیم باعث تشکیل سرمتهایی با مقاومت ویژه، رسانندگی مغناطش بالا، مغناطش اشباع شده بالا، میدان همسانگردی مناسب، سختی و استحکام بالا در کنار چقرمگی مناسب می شود که در تولید قطعات با خاصیت مغناطش بالا و ابزار برش کاربردهای بسیاری یافته اند [۵]. در سالهای اخیر پژوهشهای بسیاری در زمینه تولید مواد مرکب سرامیک-فلز صورت گرفته است از جمله این روشها می توان به سل-ژل، بال میل، آلیاژسازی مکانیکی، سنتز احتراقی و متالورژی پودر اشاره کرد. که یکی از پرکاربرترین آنها، روشهای مبتنی بر متالورژی پودر می باشند [۶]. در این روش، پودرهای مواد اولیه با یکدیگر مخلوط می گردند و سپس با پرس کردن ذرات پودر در داخل قالب و تفجوشی، ذرات پودری به یکدیگر متصل می شوند و با کاهش درصد حفره ها، چگالی افزایش می یابد. نسبت به سایر روشهای تولید سرمتهای، این روش دارای مزیت هایی مانند امکان ساخت شکل های پیچیده، هزینه تولید پائین، امکان کنترل دقیق حجم فاز دوم، بالا بودن آهنگ تولید و امکان کنترل خواص سرمت می باشد. با این حال ترشوندگی بسیار ضعیف ذرات سرامیکی در فلزات، توزیع ناهمگن ذرات در زمینه، دمای تفجوشی بالا از جمله محدودیت های این فرایند می باشند که با انتخاب روش مناسب برای ترکیب کردن سرامیک و فلز با یکدیگر و تفجوشی پودرها می توان آنها را کاهش داد.

در این پژوهش به منظور کاهش محدودیت های ذکر شده، ذرات  $Al_2O_3$  با لایه نازکی از  $Co$  به وسیله روش الکترولس پوشش داده می شوند که منجر به دستیابی توزیع یکنواخت کبالت و اکسید آلومینیم در ساختار و ممانعت از جدایش و آگلومراسیون ذرات در زمینه می شود، زیرا هر ذره  $Al_2O_3$  با  $Co$  پوشش داده شده و ترشوندگی کامل سرامیک با فلز به واسطه پوشش دهی فراهم می شود.



با این حال به نظر می رسد که این روش تا حدودی باعث کاهش سختی و استحکام این مواد مرکب شود، زیرا فاز پیوسته در این حالت بجای فاز اکسید آلومینیم، فاز کبالت می باشد [۴]. به همین منظور برای بهبود سختی و استحکام سرمت  $Al_2O_3-Co$ ، ذرات  $TiO_2$  پوشش داده شده با کبالت به نسبت های وزنی مختلف به زمینه افزوده می شوند تا با قرار گرفتن در فاز پیوسته کبالت، خواص آن را بهبود دهند. حضور  $TiO_2$  در زمینه علاوه بر تقویت این فاز می تواند مانع رشد دانه های اکسید آلومینیم در دماهای بالای تف جوشی نیز بشود. شایان ذکر است که ذرات  $TiO_2$  در این حالت نقش تقویت کننده های فاز پیوسته کبالت را ایفا کرده و بایستی ابعادی به مراتب کمتر از ذرات زمینه  $Al_2O_3$  داشته باشند. از این رو ذرات  $TiO_2$  با ابعاد نانومتر برای این منظور انتخاب شده اند. این اعتقاد وجود دارد که در مواد مرکب که با نانوذرات سرامیکی تقویت شده اند، حتی با کسر حجمی بسیار کم ذرات تقویت کننده، خواص مطلوبی بدست خواهند آورد.

تولید این نوع سرمت ها به روش متالورژی پودر شامل گستره وسیعی از تکنیک های تف جوشی همچون تف جوشی در کوره های معمول، تف جوشی با امواج ماکروویو، پرس داغ (HP)، پرس ایزواستاتیک داغ (HIP) و تف جوشی پلاسمای جرقه ای (SPS) می باشد [۷]. در این میان، تکنیک تف جوشی پلاسمای جرقه ای به دلیل داشتن مزایای بسیار زیاد از جمله امکان کنترل میکروساختار و رشد دانه ها، دمای نسبتاً پایین و انجام سریع پروسه، دستیابی به دانسیته های بسیار بالا، حذف ناخالصی از سطح ذرات و راندمان حرارتی بسیار بالا مورد توجه می باشد [۸-۹-۱۰]. در این روش، تف جوشی تحت اعمال همزمان فشارهای محوری و پالس های جریان DC انجام می شود، بنابراین این تکنیک را می توان یک روش تف جوشی تحت فشار به حساب آورد [۸]. وجه تمایز این روش با دیگر تکنیک های تف جوشی، عبور جریان الکتریکی از درون توده پودر و محفظه نگهدارنده آن برای تولید حرارت می باشد. تئوری های مختلفی برای بیان مکانیزم تف جوشی در فرآیند SPS پیشنهاد شده است که تئوری میکرو اسپارک-پلازما پذیرفته شده ترین مکانیزم می باشد. این تئوری بر اساس تخلیه الکتریکی و تولید جرقه استوار است که در آن پالس های جریان با آمپر بالا و ولتاژ پایین، بطور لحظه ای جرقه پلاسمای با



دمای بالا (بیش از  $1000^{\circ}\text{C}$ ) را در یک ناحیه موضعی کوچک بین ذرات پودر ایجاد می‌کند [۹].

به منظور بررسی تاثیر درصد نانو ذرات اکسید تیتانیوم بر مقاومت به سایش نمونه ها، تست سایش بر روی هر نمونه انجام گرفته است. تست سایشی نمونه های کامپوزیتی به روش پین و دیسک (pin-on-disc) توسط پین هایی از نانو سرمت ها به قطر  $10\text{mm}$  و ارتفاع  $5\text{mm}$ ، و دیسک سنباده SiC به شماره ۶۰۰ (رافنس سطح تقریبا ۸ میکرومتر) انجام شده است. محیط دیسک  $13.9$  سانتی متر و سرعت چرخش آن  $60$  دور بر دقیقه انتخاب شده اند. تمامی نمونه ها در شرایط ثابت دمای محیط، نیرو اعمالی  $10\text{N}$  و مسافت سایشی  $1000\text{m}$ -تست شده اند.

## ۲- مواد و روش تحقیق

مواد اولیه استفاده شده در تحقیق حاضر شامل پودراکسید آلومینیوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , merk, ۹۹%) با میانگین اندازه ذرات  $3\ \mu\text{m}$  و اکسید تیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ , merk, ۹۹%) با میانگین اندازه ذرات  $25\text{nm}$ ، به عنوان ذرات سرامیکی برای ساخت قطعات مواد مرکب مورد استفاده قرار گرفتند.

از آنجایی که سطح ذرات اکسید آلومینیوم و اکسید تیتانیوم به لحاظ شیمیایی خنثی بوده و برای پوشش دهی کبالت مناسب نمی باشند، در ابتدا سطح ذرات اکسیدهای نامبرده شده، به منظور دستیابی به خاصیت کاتالیستی آماده سازی شدند. فرایند آماده سازی شامل سه مرحله زیرکردن، حساس کردن، فعال کردن می باشد. [۱۱] در مرحله اول ذرات به مدت  $15$  دقیقه در معرض اسید  $\text{HNO}_3$  رقیق قرار داده شدند. پس از آن در مرحله دوم ذرات زبر شده توسط  $\text{HNO}_3$  به مدت  $15$  دقیقه در معرض ترکیبی از محلول  $\text{HCl}$  و  $\text{SnCl}_4$  قرار گرفتند. در مرحله آخر جهت تکمیل فرایند فعال سازی از ترکیب محلولهای  $\text{HCl}$  و  $\text{PdCl}_2$  بهره گرفته شد و ذراتی که پیش از این در مرحله نامبرده شده قبلی آماده شده بودند به مدت  $30$  دقیقه در معرض محلول مذکور قرار گرفتند. کلیه آزمایش های مربوط به آماده سازی پودرهای اکسیدی در دمای محیط صورت گرفت. پس از هر مرحله، پودرهای بدست آمده چندین بار توسط آب دیونیزه شستشو داده شدند و در آخرین مرحله، پس از جدا سازی به



وسیله دستگاه سانتریفیوژ، در خشک کن با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت خشک گردید و در مرحله پوشش دهی، ابتدا پودرهای فعال شده به آب دیونیزه افزوده شده و توسط همزن مغناطیسی با سرعت مناسب هم زده شد و پس از رسیدن دمای محلول به ۹۵°C، به ترتیب کلرید کبالت به عنوان نمک اصلی، سدیم هیپوفسفیت به عنوان عامل کاهنده و سدیم سیترات به عنوان عامل کمپلکس به محلول اولیه افزوده شد و PH توسط NaOH، در ۹.۵ تنظیم گردید. در این مرحله، در آغاز واکنش، گازهای هیدروژنی زیادی از محلول خارج شد و محلول به دلیل ایجاد پوششی از کبالت بر روی پودرها، سیاه رنگ گردید. سپس پودرهای پوشش داده شده پس از چندین نوبت شستشو با آب دیونیزه، جداسازی و در نهایت در خشک کن با دمای ۸۴°C به مدت ۱ ساعت خشک گردید. نوع و مقدار مواد برای رسوب دهی کبالت در حمام الکترولس به شرح جدول ۱ است.

۱- مراحل اعمال پوشش کبالت بروی ذرات اکسید آلومینیوم و اکسیدتیتانیوم

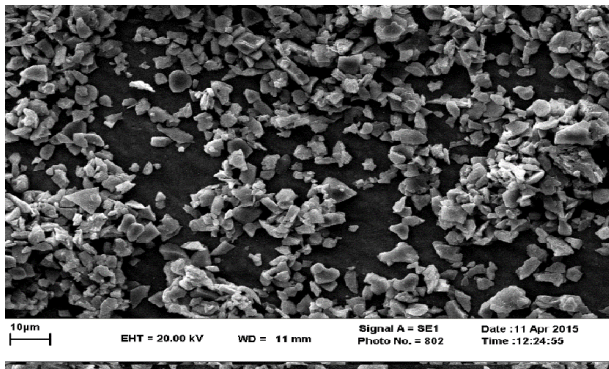
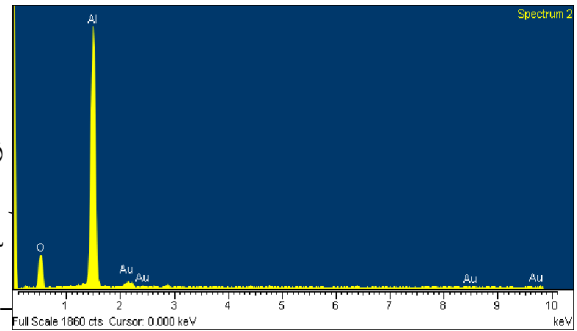
توسط روش الکترولس

مرحله	ترکیب شیمیایی	غلظت	دما	زمان
پیش عملیات	Cleaner	۱۰۰ ml	۱۰	۲۰
	Hydrophilic etcher	۱۰۰ ml/l	۱۰	۲۰
	Sensitization hydrochloric acid solution	۱۰ g/l ۶۰ ml/l	۱۰	۲۰
	Activation hydrochloric acid solution	۰.۰۵ g/l ۱۰ ml/l	۳۰	۲۰
پوشش دهی	Colorid Cobalt(CoCl <sub>۲</sub> .۶H <sub>۲</sub> O )	۳.۴۳g	۳۰	۹۰
	sodium hypophosphite (NaH <sub>۲</sub> PO <sub>۳</sub> .H <sub>۲</sub> O)	۷.۴۲g		
	sodium citrate (Na <sub>۳</sub> C <sub>۶</sub> H <sub>۵</sub> O <sub>۷</sub> .H <sub>۲</sub> O)	۴.۷۰g		
	sodium hydroxide (NaOH)	۰.۰۵g		

در ادامه پودر های آلومینای پوشش داده شده با درصد های مختلف نانو ذرات اکسید تیتانیوم پوشش داده شده با Co توسط میکسر کم انرژی با یکدیگر مخلوط شدند و به روش تفجوشی پلاسمای جرقه ای در فشار ۲۵ مگاپاسکال و دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد و با سرعت گرمایش ۵۰ °C/min تحت فرایند تفجوشی قرار گرفتند. [۱۱]



نتایج آنالیز EDS ذرات  $Al_2O_3$  اولیه، زی شده و پوشش داده شده با کبالت در ذرات اکسید آلومینیوم اولیه به شکل چند میکرومتر (شکل ۱- الف) می باشد. بعد از سطح ذرات اکسید آلومینیوم مشاهده می شود و از آنجایی که میزان آن بسیار کم است پیکهای ضعیفی دارد و به سختی مشاهده می شود. (شکل ۱- ب) پیکهای طلا که در این دو طیف مشاهده می شود مربوط به فرایند آماده سازی پودرها جهت بررسی می باشند. تصاویر SEM ذرات اکسید آلومینیوم پوشش داده شده با کبالت در انتهای فرایند الکترولس (شکل ۱- ج) نشان می دهند که با رشد ذرات کبالت در سطح اکسید آلومینیوم، پوششی نازک و نانومتری اطراف ذرات اکسید آلومینیوم را فرا گرفته است. نتایج آنالیز EDS این نمونه نیز پیکهای آلومینیم، اکسیژن و کبالت را شناسایی می کند. در حالی که پیکهای آلومینیم و اکسیژن مربوط به هسته که اکسید آلومینیوم می باشد و کبالت نیز ترکیب اصلی پوشش را تشکیل می دهند.

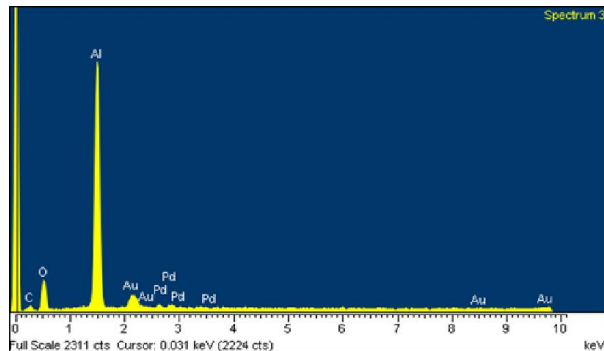
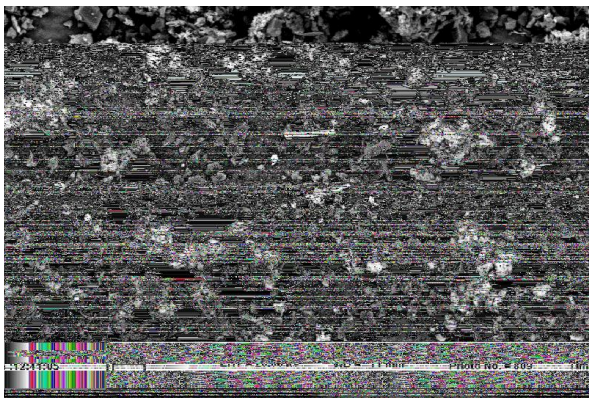


الف

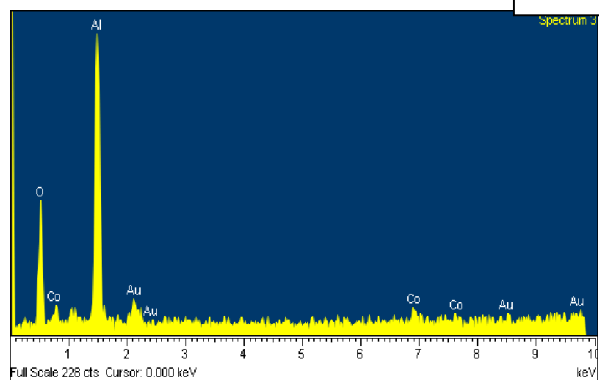
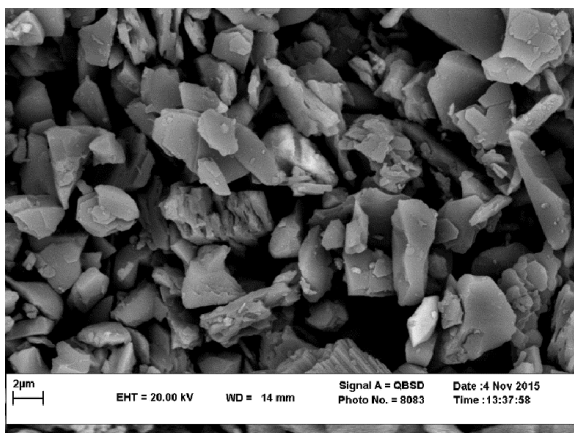




ب



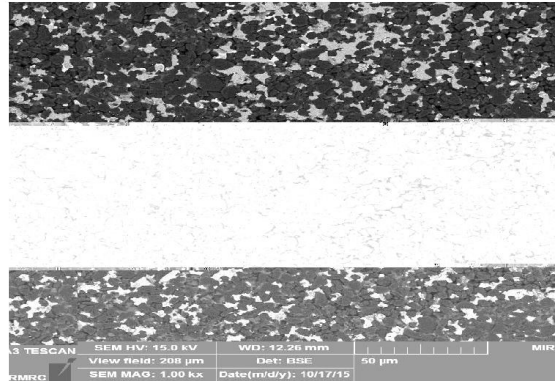
ج



شکل ۱- تصاویر SEM و نتایج EDS: الف) ذرات اکسید آلومینیوم، ب) ذرات اکسید آلومینیوم فعال‌سازی شده، ج) ذرات اکسید آلومینیوم پوشش داده شده با کبالت

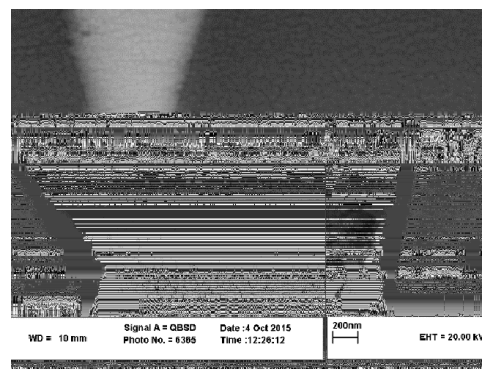
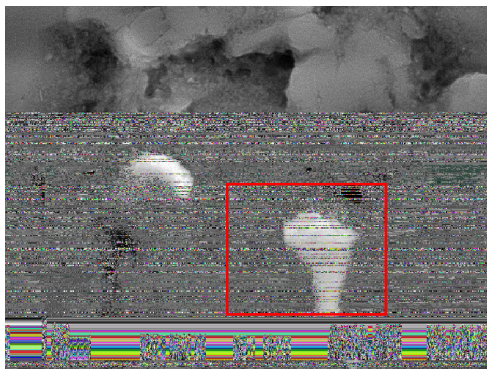
تصویر میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (در حالت الکترون های برگشتی) سطح نمونه کمپوزیتی  $Al_2O_3-Co-TiO_2$  تفجوشی شده در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد را در شکل ۲ نشان می دهد. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می شود در تمامی ریزساختار فاز کبالت به طور یکنواختی اطراف دانه های اکسید آلومینیم توزیع شده است و متعاقباً باعث بهبود خواص شده است.





شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح نمونه کمپوزیتی  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Co-TiO}_2$  تفجوشی شده در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد

همچنین به منظور مشاهده نحوه اتصال ذرات اکسید آلومینیوم با کبالت از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با بزرگنمایی های مختلف استفاده شده است تصاویر ۳ نشان می‌دهند که اتصال مناسبی بین پودرهای اکسید آلومینیوم با Co برقرار شده است.



شکل ۳- نحوه اتصال ذرات اکسید آلومینیوم با کبالت

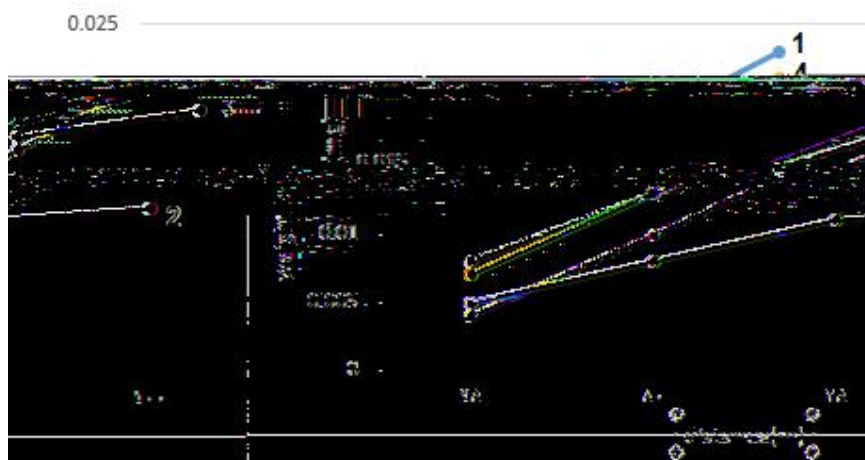
جدول ۲ نتایج اندازه گیری نرخ سایش در مسافتهای مختلف برای نمونه‌های نانو کمپوزیتی که با درصد های مختلف  $\text{TiO}_2$  تولید شده اند را نمایش می‌دهد.

جدول ۲- نرخ سایشی در مسافتهای مختلف نمونه‌های کمپوزیتی تولید شده.



نمونه	وزن نمونه در مسافتهای مختلف سایش					درصد وزنی TiO <sub>2</sub> پوشش داده شده با کبالت
	۰m	۲۰m	۵۰m	۷۰m	۱۰۰m	
۱	۷.۲۶۸	۷.۲۶۴	۷.۲۵۸	۷.۲۵۲	۷.۲۴۵	۰
۲	۷.۰۹۸	۷.۰۹۳	۷.۰۹۰	۷.۰۸۷	۷.۰۸۶	۱۵
۳	۷.۲۵۹	۷.۲۵۱	۷.۲۴۶	۷.۲۴۲	۷.۲۴۰	۲۰
۴	۶.۸۳۸	۶.۸۳۱	۶.۸۲۵	۶.۸۲۰	۶.۸۱۷	۲۵

شکل ۴ کاهش وزن نمونه‌های نانوکمپوزیتی تقویت شد با درصدی مختلف نانوذرات TiO<sub>2</sub> را در مسافتهای سایشی مختلف نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که حضور نانو ذرات TiO<sub>2</sub> در سطح نمونه‌ها پس از یک مسافت سایشی به تدریج باعث ممانعت از کنده شدن ذرات و مقاومت در برابر نیروهای ساینده می‌شود و در دراز مدت به تدریج نرخ سایش نمونه‌ها به این دلیل کم می‌شود ولی نمونه‌ی بدون نانوذرات در مسافت سایشی بالاتر دارای کاهش وزن بیشتری می‌باشد. [۱۲]. از طرف دیگر این نمودار نشان می‌دهد که نمونه نانوکمپوزیتی ۲۵wt.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> کمترین مقاومت سایشی را دارد، که علت آن می‌تواند آگلومره شدن ذرات TiO<sub>2</sub> در ریز ساختار و وجود تخلخل در نمونه‌ها باشد.



شکل ۴- نرخ سایش در مسافتهای مختلف برای نمونه‌های نانو کمپوزیتی که با درصدی مختلف TiO<sub>2</sub>



#### ۴- نتایج

۱- نتایج بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که با پوشش‌دهی ذرات اکسید آلومینیوم و اکسیدتیتانیوم به روش الکترولس، کبالت به طور یکنواختی توزیع شده است.

۲- نتایج ریزساختاری نمونه کامپوزیتی در بزرگنمایی مختلف نشان می‌دهد اتصال مناسبی بین ذرات اکسید آلومینیوم و کبالت برقرار شده است.

۳- برای بهبود استحکام این سرمته‌ها، نانو ذرات  $TiO_2$  با درصدی‌های مختلف برای توزیع در زمینه کبالتی به سرمت افزوده شدند. نتایج تست سایش نشان داد که مقاومت به سایش نانو سرمت تولیدی با افزودن مقدار کمی نانو ذرات  $TiO_2$  به طور عمده ای افزایش یافته است و در دراز مدت به تدریج نرخ سایش نمونه‌ها کم شده است.

#### منابع

[۱] Sajjadi, S.A., Ezatpour, H.R., Beygi, H., (۲۰۱۱). Microstructure and mechanical properties of Al-  $Al_2O_3$  micro and nano composites fabricated by stir casting. *Material Science and Engineering A* ۵۲۸, ۸۷۶۵- ۸۷۷۱.

[۲] Wang, T.C., Chen, R.Z., Tuan, W.H., (۲۰۰۳). Oxidation resistance of Nitoughened  $Al_2O_3$ , *J. Eur. Ceram. Soc* ۲۳, ۹۲۷-۹۳۴.

[۳] Zhang, C., Ling, G.P., He, J.H., (۲۰۰۴). Co- $Al_2O_3$  nanocomposites powder prepared by electroless plating, *Materials Letters* ۵۸, ۲۰۰-۲۰۴.

[۴] Li, G.J., Huang, X.X., Guo, J.K., (۲۰۰۱). Fabrication of ni-coated  $Al_2O_3$  powders by the heterogeneous precipitation method. *Mater. Res. Bull.* ۳۶ (۷-۸) ۱۳۰۷-۱۳۱۵.

[۵] Venkatesh, R., (۲۰۱۵). *Innovation in Engineering and Technology*.

[۶] Scheppokat, S., Hannink, R., Janssen, R., De portu, G and Claussen, N., (۲۰۰۵) Sliding wear of Cr-  $Al_2O_3$  -  $ZrO_2$  and Mo-  $Al_2O_3$ -  $ZrO_2$  composites, *J. Eur. Ceram. Soc* ۲۵, ۸۳۷-۸۴۵.

[۷] Aalund, R., (۲۰۰۸), "spark plasma sintering", *Ceramic Industry magazine*

[۸] Hungria, T., Galy, J., Castro, A., (۲۰۰۹), "Spark Plasma Sintering as a Useful Technique to the Nanostructuring of Piezo-Ferroelectric Materials", *Advanced Engineering Materials*, vol. ۱۱, No. ۸, pp ۶۱۵-۶۳۱.

[۹] Kubota, M., (۲۰۱۰), "Solid-state reaction in mechanically milled and spark plasma sintered Al-B<sub>4</sub>C composite materials", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. ۵۰۴, pp. ۳۱۹-۳۲۲.

[۱۰] Kubota, M., Cizek, P., (۲۰۰۸), "Synthesis of Al<sub>3</sub>BC from mechanically milled and spark plasma sintered Al-MgB<sub>2</sub> composite materials", *Journal of Alloys and Compounds*, vol. ۴۷۵, pp. ۲۰۹-۲۱۵.

[۱۱] Byong- Taek Lee., Kim, Ki- Ho., Esfakur Rahman, A. H. M., Song Ho- Yeon., ۲۰۰۸. Microstructures and Mechanical properties of Spark Plasma Sintered  $Al_2O_3$ -Co Composites Using Electroless Deposited  $Al_2O_3$ -Co Powders. *Materials Transactions*, Vol ۴۹, No ۶, ۱۴۵۱- ۱۴۵۵.





[۱۲] Beygi, H., M, Shaterian., Tohidlo, E., (۲۰۱۲). Development in wear resistance of Fe-۰.۷Cr-۰.۸Mn milling balls through in situ reinforcing with low weight percent TiC, *Advanced Materials Research* ۴۱۳, ۲۶۲-۲۶۹.

