

# رفتار سایشی کامپوزیت های WC-Co و WC-FeAl-B در دمای محیط و ۳۰۰ درجه سانتی گراد

محمد متقی\* و مهدی احمدیان

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۵ – دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶)

چکیده – در این پژوهش، رفتار سایشی کامپوزیتهای تجاری WC-40vol% (H10F) WC-10wt/ Co و کامپوزیت WC-40vol%FeAI-B مقادیر مختلف بور (صفر – 1000) در دمای بالا بهروش پین روی دیسک بررسی شد. آزمونهای سایش تحت بار ۴۰ نیوتن و طی مسافت ۲۰۰ متر و در سه دمای محیط، ۲۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتی گراد انجام شدند. سطوح سایش بهوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مـورد بررسـی قـرار گرفت. نتایج نشان داد که مقاومت سایشی همه کامپوزیتها با افزایش دمای آزمون، کاهش مـیکروسکوپ الکترونی روبشـی مـورد بررسـی قـرار گرفت. نتایج نشان داد که مقاومت سایشی همه کامپوزیتها با افزایش دمای آزمون، کاهش مـییابـد. کامپوزیت WC-40vol%FeAI بـدون بـور کرفت. نتایج نشان داد که مقاومت سایشی همه کامپوزیتها با افزایش دمای آزمون، کاهش مـییابـد. کامپوزیت WC-40vol%FeAI بـدون بـور کمترین مقاومت سایشی را در همه دماها نشان میدهد. با حضور بور تا ۹۰۰ کر زمینه آلومینایـد آهـن، مقاومـت سایش دمای آزمون، کاهش مـییابـد. کامپوزیت VC-40vol%FeAI بـدون بـور کمترین مقاومت سایشی را در همه دماها نشان میدهد. با حضور بور تا ۹۰۰ کر زمینه آلومینایـد آهـن، مقاومـت سایش دمای آزمون، کاهش مـییابـد. کامپوزیت VC-40vol بـور کمترین مقاومـت سایش داد که مقاومت سایش دمای از مین در با فزایش دمای آزمون، کاهش مـییابـد. کامپوزیت این کامپوزیتها و افزایش کمترین مقاومت سایش دما بـالای ایـن کامپوزیتها بهبود مییابد و مکانیزم سایش از جدایش ذره به خراشان تغییر پیدا میکند. بور با افزایش میزان چقرمگی این کامپوزیتها و افزایش میزان پوری تا و مکایز در مینه آلومیناید آهن میزان پوری این افزایش مقاومت سایشـی کامپوزیته می میزوی و بالوی یوزند فصل مشترک زمینه آلومیناید آهن و ذرات کاربید تنگستن و بنابراین افزایش مقاومت سایشـی این کامپوزیتها می شود. کامپوزیت و 1000-WC و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ تول کامپوزیت ها میور. کاره در می می میرو می میروزیت های ۲۰۵۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۰ و ۲۰۰ و ۲۰۰ و ۲۰۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۰

واژگان کلیدی: سایش دما بالا، کامپوزیتهای پایه WC، کاربیدهای سمانته، WC-FeAl-B، WC-Co،

## The Wear Behavior of WC-Co and WC-FeAI-B Composites at Temperatures of Ambient and 300°C

M. Mottaghi<sup>\*</sup> and M. Ahmadian

Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

**Abstract:** In this research, the wear behavior of commercial grades of WC-10wt%Co (H10F), WC-40vol%Co and WC-40vol%FeAl-B composites with different amounts of boron from zero to 1000 ppm has been investigated by the pin on disk test

m.mottaghi@ma.iut.ac.ir \* مسئول مكاتبات پست الكترونيكي:

method at high temperature. The wear tests were done under load of 40 N, a distance of 100 m and at ambient temperature, 200 °C and 300 °C. Wear surfaces were examined by scanning electron microscopy. The results showed that the wear resistance of all composites decreased with increasing temperature. The boron free WC-40vol%FeAl composite showed the lowest wear resistance at all ranges of temperature. In the presence of boron up to 500 ppm in iron-aluminide matrix, the high temperature wear resistance of these composites improves and the wear mechanisms changes from particle pullout into abrasive state. The toughness enhancement of these composites and plasticity enhancement of iron aluminide in the presence of boron, leads to better link of the interface of FeAl matrix and tungsten carbide particles, and thus increases the wear resistance of these composite has a higher wear resistance at high temperature than WC-40vol% Co and commercial WC-10wt% Co.

Keywords: High temperature wear, WC base composites, Cemented carbides, WC- FeAl-B, WC-Co.

#### ۱– مقدمه

پیشرفتهای علمی و فناوری به مواد ساختاری جدیدی که قادر به مقاومت در دماهای بالا و در سیالهای مختلف باشند، نیاز دارند. در تعدادی موارد، فقادان این چنین موادی با خواص مورد نیاز از انجام پیشرفتهای تازه جلوگیری میکند. دانستن قواعد اصطکاک و سایش، مواد جدید با نقطه ذوب بالا بهمنظور مقاومت در دمای بالا از اهمیت بالایی برخوردار است [۱].

کاربیدهای سمانته شامل یک فاز سخت (عمدتاً کاربید تنگستن (WC)) و فاز زمینه (عمدتاً کبالت (Co)) هستند. بخش اصلی سازنده آنها کاربید تنگستن است که سختی و مقاومت به سایش کامپوزیت و بخش دیگر کبالت چقرمگی و پیوند ذرات کاربید تنگستن را تأمین می کند [۲]. کاربیدهای سمانته ترکیب خوبی از سختی و چقرمگی دارند و همچنین مقاوم به سایش و حرارت هستند. بنابراین به طور گسترده در ابزار برش، نازل جریان گاز، قالبهای اکستروژن یا کشش، حلقه های آببندی و گسترهای از اجزای ساختاری مقاوم به سایش استفاده می شوند [۳].

به هر حال کاربیدهای سمانته با زمینه کبالتی محدودیت هایی مانند مقاومت خوردگی و اکسیداسیون ضعیف، چگالی بالا و مقاومت سایشی ضعیف زمینه دارند. خواص مکانیکی این مواد در دمای بالا افت زیادی میکند [۴]. آلومینایدهای آهن به علت مقاوم بودن به خوردگی و اکسیداسیون، نقطه ذوب بالا و قیمت و چگالی کم، برای کاربردهای ساختاری دمای بالا و زمینه جایگزین برای کامپوزیت های بین فلزی هستند. آلومینایدهای آهن در چند ترکیب مختلف وجود دارند [۵].

از نظر ترمودینامیکی WC ترشوندگی کافی با آلومیناید آهن را دارد و امکان تشکیل کامپوزیت های WC-FeAl گزارش شده است [۶]. قبلاً کامپوزیت های WC-FeAl با چگالی بالا به وسیله فرایند تف جوشی فاز مایع با فشار تک محوری تولید شدهاند. سایش خراشان کامپوزیت های WC-FeAl در دمای محیط بررسی شده است [۷]. نشان داده شده که در کامپوزیت های WC-FeAl کسر حجمی کمتری از فاز سخت WC-Gol نیاز است تا مقاومت سایشی مشابهی با سیستم WC-CO به دست آید. مشخص شده است که بیرون زدن زمینه نقش می باشد.

در سال های اخیر، پژوهش های زیادی برای افزایش انعطاف پذیری آلومینایدها انجام شده است. کنترل اتمسفر محیط، کاهش اندازه دانه، کنترل ریزساختار، عملیات حرارتی و اضافه کردن عناصر آلیاژی راه حلهای بررسی شده برای افزایش انعطاف پذیری آلومینایدها میباشند [۸].

تأثیر مفید بور در کامپوزیتهای پرس داغ شده-WC-FeAI B بررسی شده است [۹]. مشخص شد که اضافه کردن مقدار کمی بور چقرمگی بالاتر را نتیجه میدهد و از رشد ذرات WC جلوگیری می کنند. همچنین سایش خراشان کامپوزیتهای بحلوگیری می کنند. همچنین سایش خراشان کامپوزیتهای مشخص شد که مقاومت سایشی WC-FeAI با میکروآلیاژی کردن آلومیناید آهن با بور تا ۵۰۰ بهبود می یابد.

نیاز روز افزون به مواد مقاوم به سایش در دمای بالا، موجب شده است که بررسی مقاومت بـه سـایش کامپوزیـت بـا زمینـه

FeAl-B اهمیت زیادی پیدا کند. هدف از پژوهش حاضر بررسی رفتار سایشی کامپوزیتهای WC-FeAl-B در دمای بالا میباشد.

## ۲– مواد و روش تحقیق

### ۲-۱- ساخت کامپوزیتها

کامپوزیت های بررسی شده در این مطالعه (سنتز شده و از قبل آماده شده)، شامل WC-40vol%FeAI با مقادیر مختلف بور در گستره صفر تا ۱/۰ درصد وزنی و Co%WC-40vol می باشد (جدول ۱). این کامپوزیت ها قبلاً به وسیله روش پرس داغ و فرایند تف جوشی فاز مایع از پودرهای اولیه تولید شده اند [۹]. بدین ترتیب که ابتدا آلومیناید آهن با مقادیر مختلف بور بدین ترتیب که ابتدا آلومیناید آهن با مقادیر مختلف بور مروش ذوب قوسی تحت خلاء تهیه شده اند. نمونه های ترکیب شده با استفاده از آسیا کردن شمش های آلومینایدی با م<sup>9</sup> درصد حجمی پودر CW با اندازه دانه مشخص در اتمسفر آرگون و به روش پرس داغ تولید گردیده اند [۱۱]. ایس کامپوزیت ها با کامپوزیت تجاری WC-10wt%Co (H10F) که ساخت شرکت سندویک<sup>۱</sup> سوئد از نظر خواص مکانیکی و ساخت شدند.

#### ۲-۲- مشخصه یابی کامپوزیت ها

از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۳</sup> مدل Philips, XLSeries, XL30 برای مطالعه ریزساختار و مورفولوژی ذرات کاربید تنگستن موجود در کامپوزیتها استفاده شد. به وسیله نرمافزار آنالیز تصویر Image J درصد تخلخل برای هر نمونه در بزرگنماییهای مختلف و برای تصاویر با کیفیت بیشتر حساب شد. از نتایج به دست آمده از هر نمونه در بزرگنمایی مختلف میانگین گرفته شد و به عنوان درصد تخلخل برای هر نمونه کزارش شد. سختی ویکرز کامپوزیتهای پولیش شده توسط دستگاه سختی سنج ماکرو مدل Otto Wolpert-Werke GMBH قطر فرورونده و بار ۲۰ کیلوگرم معین شد. طول ترکها به همراه قطر فرورونده از محل اثر فرورونده ویکرز با استفاده از روش آنالیز تصویر

> مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ www.SID.ir

اندازه گیری شد. از معادله آنستیس<sup>۲</sup> طبق رابطه (۱) چقرمگی شکست محاسبه شد [۹]:

$$K_{IC} = {}^{\circ}{}^{\circ}{}^{\vee}{}^{\circ}\left(\frac{E}{H}\right)^{\circ/\circ}\left(\frac{P}{C^{\vee/\circ}}\right)$$
(1)

که در این رابطه E مـدول ضـریب یانـگ کامپوزیـت برحسـب پاسکال و H سختی که از رابطه (۲) بهدست میآید:

$$H = \frac{P}{a^{\tau}}$$
(\tag{\tag{T}})

P بار اعمالی برحسب نیوتن، a طول یکی از اضلاع اثر و c نصف طول قطر اثر با احتساب ترکها می باشد.

### ۲–۳– آزمون سایش کامپوزیتها

آزمون سایش به روش پین برروی دیسک طبق استاندارد ASTM-G99 انجام شد. با استفاده از قسمت کنترل موجود برروی نرمافزار دستگاه شرایط اولیه آزمون مطابق جدول ۲ اعمال شد. (مقادیر درنظر گرفته شده برای پارامترها به اندازهای بود که کاهش وزنی که برای هر نمونه به دست می آید بیشتر از خطای ترازو یعنی ۲۰۰۰/۰ گرم باشد.) آزمون سایش در دمای محیط و دماهای ۲۰۰۰، ۳۰۰ درجه سانتی گراد انجام شد.

نمونههای سایش به شکل پین هایی به قطر ۶/۳۵ میلی متر بود. دیسک ساینده به قطر ۵۰ میلی متر و ضخامت ۵ میلی متر از جنس سنگهای سایش آلومینایی (A)، استحکام بالا (P) با کـد استاندارد A36P4V بـود و انـدازه متوسط ذرات سـاینده در دیسک حدود ۲۰۰ میکرومتر اندازه گیری شد.

قبل و پس از انجام هر آزمون، نمونه و دیسک ساینده با استون شسته، خشک و تمیز و با دقت ۵۰۰۰۱ گرم توزین شدند. برای ایجاد دمای مورد نظر کورهای در اطراف نگهدارنده پین و دیسک چرخان تعبیه شده بود. این کوره شامل یک المنت حرارتی و یک ترموکوپل است که هردو به نرمافزار دستگاه متصل است. برای انجام آزمونها در دماهای ۲۰۰ درجه سانتی گراد، پس از هر بار قرار دادن نمونه برروی دستگاه، دمای مورد نظر روی نرمافزار ثبت شد.

				1	
چگالی فازها (گرم بر سانتیمتر مکعب)	اندازه ذره WC (میکرومتر)	مقدار بور (ppm)	مقدار بايندر	نوع باين <i>د</i> ر	علامت اختصاري
Со (٨/٩) —	۰/٨	-	۱۶٪ حجمی	Co	H10F
	৽/۶٩	_	۴۰٪ حجمی	Со	CW2
WC (10/98)	•/ <b>۶</b> ٩	٥	۴۰٪ حجمی	FeAl	SF1
	৽/۶٩	۲۵۰	۰۴٪ حجمی	FeAl	SF2
FeAl (۶/۰۶)	•/ <b>۶</b> ٩	۵۰۰	۰۴٪ حجمی	FeAl	SF3
	• <i>/</i> ۶٩	۷۵۰	۰ ۴٪ حجمی	FeAl	SF4
	৽/۶٩	1000	۴۰٪ حجمی	FeAl	SF5

جدول ۱- علائم اختصاری و خصوصیات کامپوزیتهای استفاده شده در این تحقیق

جدول ۲ – شرایط آزمون سایش در دمای محیط و دمای بالا

مقدار تنظيم شده	پارامتر
۴۰ نيوتن	نيروى عمودى
۰ ۱۰ متر	مسافت لغزش
۱۰ میلیمتر	شعاع مسير
۶۰ دور بر دقیقه	سرعت چرخش
۶۳%/۰ متر بر ثانیه	سرعت لغزش
استفاده نشد	روانکار

المنت حرارتی روشن شده و کوره را گرم میکند. دمای کوره در هر لحظه روی نرمافزار نمایش داده میشود. هنگامی که کوره به دمای مورد نظر رسید، میتوان آزمون را شروع کرد. نرخ سایش بهصورت کاهش وزن (که اختلاف بین وزن نمونه قبل و پس از آزمون است) بیان شد. سطوح سایش نمونهها بهوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث
۳-۱- رفتار سایشی کامپوزیتهای WC-FeAl-B
مقادیر سختی برای این کامپوزیتها به صورت نمودار ستونی
در شکل ۱ آورده شده است. کامپوزیتهای زمینه بین فلـزی

سختی بالاتری در مقایسه با کامپوزیتهای با زمینه کبالت با میزان مشابه (۴۰ درصد حجمی) دارند. با افزودن بور به کامپوزیتهای زمینه بین فلزی سختی آنها به مقدار ناچیزی کاهش یافته است. سختی بالاتر کامپوزیتهای زمینه بین فلزی مربوط به سختی بالاتر زمینه آلومیناید آهن موجود در این کامپوزیتها در مقایسه با سختی کبالت است. با حضور بور در این کامپوزیتها، چقرمگی آنها افزایش یافته که باعث کاهش سختی شده است.

چقرمگی شکبت محاسبه شده برای کامپوزیتهای مختلف بهصورت نمودار ستونی در شکل ۲ نشان داده شده است. کامپوزیت BreAl-1000pmB ییشترین چقرمگی را نسبت به کامپوزیتهای دیگر داراست. کمترین چقرمگی مربوط به کامپوزیت با زمینه آلومینایدی بدون بور به دلیل تردی زیاد میباشد. با افزایش مقدار بور حل شده در زمینه بین فلزی به mq ۰۰۵ میزان چقرمگی به دست آمده افزایش یافته است (با افزایش میزان بور به mq ۰۵۰ میزان چقرمگی تغییر چندانی نمی کند. در واقع نمونه های با ۰۰۵، ۵۵۰ و mq ۰۰۰۰ بور میزان چقرمگی نزدیک به هم و همچنین نزدیک به نمونه تجاری Cow tow دارند). در مورد کامپوزیت های زمینه بین فلزی با افزودنی بور همین روند دیده شده که دلیل آن افزایش شکل پذیری زمینه بین فلزی با افزودن بور، بهبود



استحکام و چسبندگی مرز دانه ها و همچنین بهبود تردی محیطی در اثر افزودن بور دانسته شده است [۲]. افزایش بور حل شده در آلومیناید آهن موجب افزایش حلالیت کاربید تنگستن در زمینه و در نتیجه افزایش استحکام پیوند در فصل مشترک زمینه –کاربید تنگستن و در پی آن افزایش مقاومت در برابر رشد ترک و بهبود چقرمگی می شود [11].

کاهش وزن کامپوزیتهای (FeAI-B)/WC-40vol برحسب مقدار بور در دماهای مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. کاهش وزن این کامپوزیتها با افزایش میزان بور تـا ۵۰۰ ppm

کاهش مییابد. به طوری که با حضور بور تا ۵۰۰ ppm مقاومت سایشی این کامپوزیت در دمای محیط ۲۰ برابر، در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد ۱۴ برابر و در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد حدود ۱۰ برابر افزایش مییابد. اگر بور به میزان بیش از ppm ۵۰۰ وجود داشته باشد، نه تنها تأثیری روی مقاومت سایشی این سرمتها ندارد بلکه آن را قدری کاهش نیز می دهد. وجود پیوند فصل مشترکی مناسب بین ذرات کاربید تنگستن و زمینه برای دست یابی به مقاومت سایشی مطلوب ضروری می باشد [۱۳]. بور با افزایش میزان چقرمگی این

> مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ www.SID.ir



کامپوزیت ها و افزایش قابلیت شکل پذیری آلومیناید آهن و همچنین بهبود حلالیت کاربید تنگستن در آن منجربه بهبود پیوند فصل مشترک زمینه آلومیناید آهن و ذرات کاربید تنگستن و بنابراین افزایش مقاومت سایشی این کامپوزیت ها شده است [۱۲]. با افزایش بور به بیش از ۵۰۰ بهدلیل کاهش سختی، مقاومت به سایش مقداری کاهش پیدا می کند.

همانطور که از نمودار شکل ۳ مشخص است با افزایش دمای آزمون سایش، میزان کاهش وزن هر کامپوزیت افزایش مییابد. این افزایش برای کامپوزیت بدون بور کاملاً مشهود است. در حضور بور اختلاف بین کاهش وزن در دماهای مختلف کمتر میشود (اختلاف بین کاهش وزن یک نمونه در دماهای مختلف بیشتر از خطای اندازه گیری یعنی ۱/۰ میلی گرم است). با حضور بور تردی محیطی (تردی در دمای محیط) این کامپوزیتها بهبود مییابد و در نتیجه باعث کم شدن اختلاف مقاومت سایشی در دماهای مختلف میشود.

شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیت های (FeAl-B)%WC-40vol را در دمای محیط نشان می دهد. در مورد کامپوزیت بدون بور سایش همراه با تشکیل کندگی هایی در سطح تماس بین کامپوزیت و ذرات ساینده (ناشی از جدا شدن از دیسک ساینده) اتفاق می افتد. برای این کامپوزیت میکروشکست هایی در سطوح

سایش دیده می شود. کندگی موضعی زمینه نقش اصلی را در سایش کامپوزیت WC-FeAI دارد. درمورد کامپوزیت WC-40vol%FeAI-500ppmB اثری از کندگی روی سطح این کامپوزیت دیده نمی شود.

حل شدن مقداری بور در زمینه آلومیناید آهن باعث قوی تر شدن پیوند فصل مشترک زمینه و ذرات کاربید تنگستن می شود که احتمال شکست ترد کامپوزیت از مرز بین زمینه و ذرات تقویت کننده را کاهش می دهد [۲]. این موضوع باعث می شود که مکانیزم سایش از حالت کندگی به حالت خراشان تغییر پیدا کند. با رسیدن میزان بور به opp ۱۰۰۰ چقرمگی شکست ثابت مانده ولی سختی روند کاهشی خود را ادامه می دهد. مکانیزم سایش این کامپوزیت نیز از نوع خراشان بوده ولی عمق شیارهای سایشی بیشتر از نمونه با opp ۵۰۰ بور است (نواحی تیره رنگ مشاهده شده در سطوح سایش نمونه با opp ۵۰۰ بور ناشی از مخلوط نشدن کامل زمینه بین فلزی حین ساخت کامپوزیت بوده، نه ایجاد ترک حین سایش).

شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیتهای (FeAI-B) WC-40vol% را در دمای ۰۳۰ درجه سانتی گراد نشان می دهد. مکانیزمهای حاکم بر سایش این کامپوزیتها در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد همان مکانیزمهای سایش در دمای محیط اما در حالت شدیدتر میباشد. یعنی در مورد کامپوزیت بدون بور کندگیهای ایجاد شده و در مورد کامپوزیتهای شامل بور خراشهای ایجاد شده بیشتر و عمیق تر هستند. این رفتار به دلیل مقاومت به سایش کمتر کامپوزیتها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد نسبت به دمای محیط است. زیرا با افزایش دما شرایط سایشی شدیدتر و پیوند بین ذرات ضعیف تر شده در نتیجه مواد با سهولت بیشتری از سطوح نمونهها برداشته می شوند.

#### ۲-۳- مقایسه کامپوزیتهای WC-FeAl-B با WC-Co

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی در حالت الکترونهای برگشتی<sup>۴</sup> را برای کامپوزیتهای WC-10wt%Co

مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶



شکل ۴– تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیتهای WC-40vol%FeAl-B در دمای محیط: الف) بدون بور، ب) حاوی ۵۰۰ ppm بور و ج) حاوی ۱۰۰۰ ppm بور



شکل ۵– تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیتهای WC-40vol%FeAl-B در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد: الف) بدون بور، ب) حاوی ۵۰۰ ppm و ج) حاوی ۱۰۰۰ بور و ج



شکل ۶– تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی در حالت الکترون برگشتی از کامپوزیت.های: الف) WC-10wt%Co و ب) (WC-40vol%(FeAl- 500ppmB)

و (FeAl-500ppm B) WC-40vol% با فازهای روشن و تاریک که به ترتیب ذرات WC و زمینه فلـزی یـا بـین فلـزی هسـتند، نشان میدهد.

از تصاویر نشان داده شده به خوبی اندازه ریزتر ذرات کاربید تنگستن موجود در کامپوزیت سنتز شده در مقایسه با کامپوزیت تجاری مشهود است. اندازه متوسط ذرات کاربید تنگستن در کامپوزیت سنتز شده در حدود ۶۹/۹ و در کامپوزیت تجاری در حدود ۸/۹ میکرومتر هستند. همچنین فاز زمینه در H10F کمتر از نمونه WC-FeAI-B میباشد.

شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی در حالت الکترونهای برگشتی و الکترونهای ثانویه را برای کامپوزیت (FeAI-500ppm) WC-40vol نشان می دهد. از یک منطقه از سطح نمونه در هر دو حالت تصویر گرفته شده است. در این تصاویر نواحی تیره رنگ وجود تخلخلهایی را در ساختار این کامپوزیتها نشان می دهد. در شکل ۸ نتایج بهدست آمده از آنالیز ۱۰ تصویر توسط نرمافزار Image tool برای اندازه گیری درصد تخلخل هر کامپوزیت آورده شده است. همان طور که در نمودار دیده می شود، همه کامپوزیتها درصد تخلخل نسبتاً کم و نزدیک به هم دارند کامپوزیتها درصد تخلخل تسبتاً کم و نزدیک به هم دارند که باعث می شود تخلخل تأثیر کم و یکسانی روی رفتار سایشی آنها داشته باشد.

کاهش وزن پـس از آزمـون سـایش پـین روی دیسـک در

دماهای مختلف برای کامپوزیتهای (FeAl) WC-40vol% (FeAl) و نوع تجاری WC-10wt% Co در شکل ۹ نشان داده می شود. مشاهده می شود که کامپوزیت در شکل ۹ نشان داده می شود. مشاهده می شود که کامپوزیت WC-40vol% Co WC-40vol% Co WC-40vol% (FeAl-500ppmB) ای WC-40vol% نشان می دهد. با کاهش یافتن درصد Co در سرمتهای WC-40vol می دهد. با کاهش یافتن درصد Co در سرمتهای WC-40vol منعی و مقاومت سایشی افزایش می یابد [۱۴]. مقاومت سایشی بالاتر wC-40vol% FeAl-500ppmB در مقایسه با ۵۰۳ ویکرز) در مربوط به سختی بالاتر BeAl-۱۶ (۳۰۰ تا ۵۵۰ ویکرز) در مقایسه با زمینه کبالت (کمتر از ۱۰۰ ویکرز) است [۲]. در همه دماها کامپوزیت Bur-40vol% با این که درصد دماها کامپوزیت WC-40vol% با این که درصد دماها کامپوزیت WC-10wt% در مقاومت سایشی بیشتری نشان می دهد.

شکل ۹ میزان کاهش وزن کامپوزیت ها را در دماهای مختلف نشان می دهد. همان طور که از این نمودار مشخص است با افزایش دمای آزمون سایش، میزان کاهش وزن هر کامپوزیت افزایش می یابد که به دلیل شدیدتر شدن آثار سایشی است. با افزایش دما خواص مکانیکی کامپوزیت ها مانند سختی کاهش پیدا وزایش دما خواص مکانیکی کامپوزیت ها مانند سختی کاهش پیدا دمای بالا سایش به دلیل از هم پاشیدگی حرارتی (ضعیف شدن پیوند بین ذرات با افزایش دما) سطح بیشتر صورت می گیرد [10].

> ∧ www.SID.ir



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از (FeAl- 500ppmB)/WC-40vol؛ الف) در حالت الکترونهای برگشتی



و ب) در حالت الکترونهای ثانویه

شکل ۸- نمودار ستونی از درصد تخلخل سطحی اندازه گیری شده برای سرمتهای مختلف



مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ www.SID.ir



شکل ۱۰ - تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیت های: الف) WC-10wt%Co، ب) WC-40vol%Co و ج) (FeAl- 500ppmB) در دمای محیط

شکل ۱۰ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیت های WC-40vol%Co و WC-40vol%Co و WC-40vol%(FeAI-500ppmB) او WC-40vol%(FeAI-500ppmB) می دهد. در مورد کامپوزیت های Co%Co (FeAI-500ppmB) WC-40vol%(FeAI-500ppmB) شیارهایی در سطح تماس بین کامپوزیت و ذرات ساینده رخ شیارهایی در سطح تماس بین کامپوزیت و ذرات ساینده رخ می دهد. سایش در اثر خیش خوردن پیشرفت میکند و به نظر می رسد مکانیزم سایش خراشان غالب باشد. در مورد کامپوزیت می سلح می در سایش خراشان غالب باشد. در مورد کامپوزیت تماس بین کامپوزیت و ذرات ساینده رخ می دهد. در این تصاویر جدا شدن و کنده شدن زمینه کبالت مشهود است. کندگی موضعی کبالت مرحله مهمی در فرآیند سایش این مواد است [۷].

شکل ۱۱ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیتهای شکل ۱۰ را در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد نشان میدهد. در سطح سایش نمونه WC-10wt%Co کندگی ذرات از سطح نیز دیده میشود. با مقایسه سطح

سایشی در این دما با سطح بررسی شده در دمای پایین، تنها تفاوت موجود افزایش کندگیها و گسترش حوزه حاصل از کندگیها است. در سطح سایش نمونه OO%WC-40vol تغییر شکل پلاستیکی شدید در زمینه کبالت مشاهده می شود. در این دما مقدار قابل توجهی کبالت از بین ذرات کاربید تنگستن بیرون کشیده شده و در اثر برخورد با دیسک ساینده برروی سطح آن پهن شده است. مکانیزمهای حاکم بر سایش این کامپوزیتها در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد همان مکانیزمهای سایش در دمای محیط اما در حالت شدیدتر میباشد. یعنی در مورد کامپوزیت OO%OV-40vol و میباشد. یعنی در مورد کامپوزیته OC ایجاد شده و در مورد کامپوزیته CO%OV-40vol و WC-10wt کم و ایجاد شده بیشتر و ایجاد شده بیشتر و عمیقتر هستند.

۴- نتیجه گیری

رفتار سایش خراشان در دمای بالای کامپوزیتهای پایه WC با زمینه بین فلـزی آلومینایـد آهـن همـراه و بـدون بـور در ایـن

مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶

www.SID.ir



شکل ۱۱– تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطوح سایش کامپوزیت های: الف) WC-10wt%Co، ب) WC-40vol%Co و ج) (FeAl=500ppmB)(Co در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد

بررسی ارزیابی شده است. نتایج اصلی بـهدسـت آمـده در ایـن مطالعه در زیر آمده است:

۱- حضور بور باعث بهبود مقاومت سایشی کامپوزیت
 WC-FeAI در همه دماها می شود. به طوری که با حضور بور تا
 WC-FeAI در همه دماها می شود. به طوری که با حضور بور تا
 ۵۰ oppm مقاومت سایشی این کامپوزیت در دمای محیط ۲۰ برابر، در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد ۱۴ برابر و در دمای
 درجه سانتی گراد حدود ۱۰ برابر افزایش می یابد.

۲- با افزایش دما تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد مقاومت سایشی همه کامپوزیتها کاهش می یابد. اما در این دما بهترین مقاومت سایشی را کامپوزیت (FeAl-500ppmB) WC-40vol دارا می باشد و نوع تجاری WC-10wt %Co (H10F) و کامپوزیت بدون بور پس از آن قرار دارند.

۳- مکانیزم حاکم بر سایش در دمای محیط کامپوزیت WC-10wt%Co و WC-40vol%FeAl-B خراشان بوده با افزایش دماتا ۳۰۰ درجه سانتی گراد، مکانیزم همچنان خراشان بوده اما حالت آن شدیدتر شده است. با حضور بور تا مراشان بوده اما حالت آن شدیدتر شده است. با حضور برر این کامپوزیتها از حالت جدایش ذره به حالت خراشان تغییر پیدا کرد.

۴- مقاومت به سایش خراشان دمای بالای کامپوزیت WC-40vol%(FeAI-500ppmB) بیشتر از نوع تجاری (H10F) WC-10wt%Co است که بهدلیل استحکام بالاتر زمینه FeAI-B نسبت به زمینه کبالت در دمای بالا میباشد.

#### واژەنامە

4. back scatter electron (BSE)5. secondary electron (SE)

- 1. Sandvic
- 2. Anstis
- 3. scanning electron microscopy (SEM)

مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ www.SID.ir

- Semenov, A. P., "Tribology at High Temperature", *Tribology International*, Vol. 28, pp. 45-50, 1995.
- Ahmadian, M., Wexler, D., Calka, A., and Chandra, T., "The Effect of Boron on the Hardness and Fracture Toughness of WC-FeAl-B and WC-Ni<sub>3</sub>Al-B Composites", *Materials Science Forum*, Vol. 539, pp. 962-967, 2007.
- Jianxin, D., Hui, Z., Ze, W., Yansong, L., and Jun, Z., "Friction and Wear Behaviors of WC/Co Cemented Carbide Tool Materials with Different WC Grain Sizes at Tempratures up to 600°C", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 31, pp. 196-204, 2012.
- Subramanian, R., and Schneibel, J. H., "Intermetallic Bonded WC-Based Cermets by Pressureless Melt Infiltration", *Intermetallics*, Vol. 5, pp. 401-408, 1997.
- 5. Grabke, H. J., "Oxidation of NiAl and FeAl", Intermetallics, Vol. 7, pp. 1153-1158, 1999.
- Mosbah, A., Wexler, D., and Calka, A., "Tungsten Carbide Iron Aluminide Hardmetals: Nanocrystalline vs Microcrystalline", *Materials Science Forum*, Vol. 360-362, pp. 649-654, 2001.
- Mosbah, A., and Wexler, D., "Abrasive Wear of WC-FeAl Composites", *Wear*, Vol. 258, pp. 1337-1341, 2005.
- Johnson, D. F., and Carter, E. A., "First-Principles Assessment of Hydrogen Absorption into FeAl and Fe<sub>3</sub>Si: Towards Prevention of Steel Embrittlement", *Acta Materialia*, Vol. 58, pp. 638-648, 2010.
- Ahmadian, M., Wexler, D., Calka, A., and Chandra, T., "Liquid Phase Sintering of WC-FeAl and WC-

rci

Ni<sub>3</sub>Al Composites with and without Boron", *Materials Science Forum*, Vol. 423-426, pp. 1951-1956, 2003.

- Ahmadian, M., Wexler, D., Chandra, T., and Calka, A., "Abrasive Wear of WC-FeAI-B and WC-Ni3AI-B Composites", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 23, pp. 155-159, 2005.
- 11. Ahmadian, M., and Wexler, D., "Liquid Phase Sintering of sub Micron WC Composites Containing new Binders Based on Boron Doped Aluminides", *International Conference on Ultrafine Grained and Nanostructured Materials*, University of Tehran 2007.
- Ahmadian, M., "Sintering, Microstructure and Properties of WC-FeAl-B and WC-Ni<sub>3</sub>Al-B", Ph.D. Thesis, Materials and Mechatronic Engineering, University of Wollongong, 2005.
- Sanchez, E., Bannier, E., Salvador, M. D., Bonache, V., Garcia, J. C., Morgiel, J., and Grzonka, J., "Microstructure and Wear Behavior of Conventional and Nanostructured Plasma-Sprayed WC-Co Coating", *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol. 19, pp. 964-974, 2010.
- Fischer, T. E., and Jia, K., "Abrasion Resistance of Nanostructured and Conventional Cemented Carbides", Wear, Vol. 200, pp. 206-214, 1996.
- Hutchings, I. M., *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*, 1st ed, Cambridge, London 1992.