Archive of SID

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح
پژوهشگاه مواد و انرژی
۲۹ و ۳۰ مهرماه ۱۳۹۳

انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

بررسی رفتار سایشی کامپوزیت کاربید تنگستن-کبالت سنتز شده(WC-۱۰٪Co) و کامپوزیت تجاری WC-۱۰٪Co (H۱۰F)

محمد متقی [۱]، مهدی احمدیان [۲]

[۱]. دانشگاه صنعتی اصفهان (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد)
[۲]. دانشگاه صنعتی اصفهان (استادیار دانشکده مهندسی مواد)

چکیده

در این تحقیق رفتار سایشی کامپوزیت‌های WC-۱۰٪Co با اندازه ذرات WC متفاوت به روش پین روی دیسک بررسی شد. آزمون پین روی دیسک در دمای محیط، تحت بارهای ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰کیلوگرم و طی مسافت حد اکثر ۲۰۰متر انجام شد. نتایج نشان داد که کامپوزیت با اندازه ذره WC کوچک‌تر مقاومت بهتری در برابر سایش حتی در بارهای زیاد در دمای محیط داراست. مکانیزم سایش این کامپوزیت جدا شدن باینـدر نرم کبالت از بین ذرات سخت کاربید تنگستن شناخته شد. سختی و چقرمگی نقش مثبتی را در مقاومت به سایش این کامپوزیت ایفا می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: سایش؛ WC-Co؛ پین روی دیسک؛ سرمت.

[۱]. m.mottaghi@ma.iut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

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 فقدان این چنین موادی با خواص مورد نیاز از انجام پیشرفت‌های تازه جلوگیری می‌کند. بینش بر روی قواعد اصطکاک و سایش، مواد جدید با نقطه ذوب بالا برای مقاومت در دمای بالا برای عملکرد موثر اجزای متحرک و ثابت درگیر ماشین و برای ماشین کاری در دماها و فشارهای بالا مانند برش از اهمیت بالایی برخوردار است [۱].

کاربیدهای سمانته به طور گسترده در کاربردهای برش و سایش مانند ابزارهای برش، مته و تجهیزات معدن کاری و هم چنین اجزای ولوهای طراحی شده برای انتقال محلول‌های ساینده به دلیل ترکیب یکنواختی از سختی بالا و چقرمگی شکست متوسط استفاده می شوند [۲]. ابزارهای کاربید سمانته WC/Co عموما مناسب-ترین مواد برای برش خشک و ماشین کاری با سرعت بالا به دلیل سختی زیاد و مقاومت به حرارت و سایش بالا هستند[۳].

کاربیدهای سمانته ترکیب نسبتا خوبی از سختی و چقرمگی دارند و هم چنین مقاوم به سایش و حرارت هستند. بنابراین آن‌ها به طور گسترده در ابزار برش، نازل جریان گاز، قالب‌های اکستروژن یا کشش، حلقه‌های آب بندی و گستره‌ای از اجزای ساختاری مقاوم به سایش استفاده می‌شوند. کاربیدهای سمانته شامل یک فاز سخت (عمدتا کاربید تنگستن WC) و فاز بایندر (عمدتا کبالتCo) هستند. کاربید تنگستن استحکام و مقاومت سایشی لازم را برای آلیاژ فراهم می‌کند. در حالی که کبالت چقرمگی و داکتیلیته آلیاژ را موجب می‌شود. خواص مکانیکی کاربیدهای سمانته به ترکیب آن و اندازه ذره WC بستگی دارد. اندازه ذره کاربید تنگستن در WC/Co از ۰/۳ تا ۴۰ میکرومتر و مقدار کبالت از ۳ تا ۳۰ درصد وزنی متغیر است. کاربیدهای با اندازه ذره درشت اساسا در کاربردهای معدنی استفاده می‌شوند. اندازه ذره کاربید تنگستن در صنعت برش فلز برای کاربردهای عمومی در محدوده ۱-۲ میکرومتر قرار دارد. کاهش اندازه ذره WC سختی را افزایش می‌دهد. اخیرا ذرات فوق ریز WC کم‌تر از ۰/۱ میکرومتر توسعه پیدا کرده‌اند که در نتیجه آن رفتار سایشی بهبود می‌یابد[۳].

خواص مواد کامپوزیتی به چند عامل مثل ویژگی فازها، اندازه و توزیع آن‌ها، انباشتگی ذرات کاربید، انرژی فصل مشترک و تنش بین فازها وابسته است. ذرات سرامیکی ترد بزرگ‌ترین بخش سازنده سرمت‌ها و فلزی نرم کوچک‌ترین بخش سازنده آن‌ها هستند. به علت کنترل ریزساختار و چگالی بالای سرمت‌ها، از متالورژی پودر برای ساخت این مواد استفاده شده است. هم چنین برای ایجاد یک سرمت مطلوب، باید پیوندی قوی بین فلز و سرامیک وجود داشته باشد. برای ایجاد پیوندی قوی، داده‌های مربوط به استحکام بر حسب تابعی از فاکتورهای ساخت، خواص ضروری مواد، سازگاری‌های شیمیایی و مکانیکی و ویژگی‌های نقاط فصل مشترک، مثل عیوب و مناطق بدون پیوند لازم است [۴]. گرایش به استفاده از مواد با دانه بندی ریزتر در صنعت هاردمتال‌ها، طی سال-های اخیر رشد کرده است [۵].

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش تحقیق

سختی سنجی نمونه‌های کامپوزیتی WC-۱۰٪Co به روش ماکرو و با نیروی ۲۰ کیلوگرم انجام شد. به وسیله میکروسکوپ نوری از نقطه اثر ویکرز و سطح پولیش شده نمونه‌ها تصاویری گرفته شد. با استفاده از نرم افزار آنالیز تصویر Image J طول قطر اثر ویکرز و ترک‌ها به دست آمد و چقرمگی شکست محاسبه شد. هم‌چنین با استفاده از این نرم افزار درصد تخلخل هر کامپوزیت به دست آمد.

مقاومت سایشی این دو نمونه (به شکل پین‌هایی به طول حدودا ۲سانتی‌متر و قطر ۶/۳۵ میلی‌متر) به روش پین روی دیسک مورد بررسی قرار گرفت. کامپوزیت WC-۱۰٪Coبا اندازه ذره WC ۰/۷ میکرومتر، به وسیله روش پرس داغ و فرآیند زینترینگ فاز مایع تولید شده است ولی کامپوزیت با اندازه ذره WC ۰/۸ میکرومتر از نوع تجاری (H۱۰F) ساخت شرکت سندویک[۱] سوئد است. از نمونه H۱۰F به عنوان یک نمونه شاهد با سختی و مقاومت به سایش بالا استفاده شده است. برای دیسک ساینده از سنگ سایشی با کد استاندارد A۳۶P۴V به قطر حدود ۵سانتی‌متر و ضخامت ۵میلی‌متر استفاده شد. در شکل ۱ تصاویر پین و دیسک نشان داده شده است.

رفتار سایشی این دو نمونه به وسیله آزمون پین بر روی دیسک طی چند مرحله مورد بررسی قرار گرفت. در طی این مراحل پارامترهای جدول ۱ ثابت بودند. برای روشن شدن تاثیر بار اعمالی، آزمون تحت بارهای ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ نیوتن انجام شد.

نتایج و بحث

الف- بررسی خواص مکانیکی

از معادله آنستیس[۲] طبق رابطه زیر برای محاسبه چقرمگی شکست استفاده شد.

$$K_{IC} = ۰.۰۱۶\left(\frac{E}{H}\right)^{۰.۵}\left(\frac{P}{C^{1.5}}\right) \qquad (۱)$$

که در این رابطه E مدول یانگ کامپوزیت بر حسب پاسکال، H سختی که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$H = \frac{P}{a^2} \qquad (۲)$$

$\frac{P}{a^2}$

P بار اعمالی بر حسب نیوتن، a متوسط طول یکی از اضلاع اثر و c متوسط نصف طول نوک یک ترک تا نوک ترک مقابل

با استفاده از رابطه ۱ و اندازه گیری پارامترهای خواسته شده از شکل۲، چقرمگی شکست نمونه‌ها مطابق جدول ۲ محاسبه شد.

با استفاده از نرم افزار Image J درصد تخلخل نمونه‌ها مطابق جدول ۲ به دست آمد.

۱. Sandvic
۲. Anstis

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ مقادیر سختی، چقرمگی شکست و تخلخل را برای دو کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده و تجاری نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده به دلیل اندازه ذره WC کم-تر، سختی و چقرمگی شکست بالاتری نسبت به نوع تجاری آن دارد. ترکیب این دو ویژگی، مقاومت سایشی بالایی را برای کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده به ارمغان می‌آورد. البته این کامپوزیت درصد تخلخل بیش-تری نسبت به نوع تجاری آن دارد.

ب- بررسی رفتار سایشی

جدول ۳ میزان کاهش وزن و نرخ سایش را برای کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده در بارهای مختلف نشان می‌دهد. نرخ سایش از رابطه ۳ به دست آمده است.

$$W_R = M / (F.L) \qquad (۳)$$

که در این رابطه M میزان کاهش وزن نمونه (بر حسب میلی گرم) پس از پایان هر آزمون، F نیرو بر حسب نیوتن و L مسافت سایش بر (حسب متر) است.

شکل ۳ نمودار کاهش وزن بر حسب بار را نشان می‌دهد. همان طور که از این نمودار بر می‌آید، با افزایش میزان بار اعمالی مقدار کاهش وزن تا بار ۶ کیلوگرم بیش‌تر شده، اما در بار ۸ کیلوگرم کاهش وزن نمونه ثابت باقی مانده است. این موضوع نشان دهنده مقاومت بایندر کبالت در برابر کنده شدن از سطح است. اما در بار ۱۰ کیلوگرم میزان کاهش وزن به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. که نشان می‌دهد با افزایش بار به این مقدار، بایندر کبالت مقاومت خود را از دست داده و از بین ذرات سخت کاربید تنگستن کنده می‌شود.

شکل ۴ نمودار نرخ سایش را برای بارهای مختلف نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، نرخ سایش برای بار ۱۰ کیلوگرم به دلیل از دست دادن مقاومت بایندر کبالت از همه بیش‌تر است. اما برای بار ۸کیلوگرم با وجود بار نسبتا زیاد، به دلیل مقاومت بایندر کبالت نرخ سایش از همه کم‌تر است.

شکل ۵ نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت را برای بارهای ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ کیلوگرم نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، در ابتدا ضریب اصطکاک زیاد است که ناشی از در تماس قرار گرفتن پین با سطح تازه از دیسک ساینده است. با طی شدن مسافت زبری سطح دیسک کاهش یافته و ضریب اصطکاک به حالت پایدار می‌رسد. هم‌چنین با ۵ برابر شدن بار، متوسط ضریب اصطکاک ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش فشار وارده، میزان درگیری سطوح در حال تماس افزایش می‌یابد. در نتیجه نیروی افقی بیش‌تری برای جدا کردن سطوح در حال تماس حین لغزش لازم است. بنابراین ضریب اصطکاک که از نیروی افقی ناشی می-شود، نیز افزایش می‌یابد. با افزایش بار، محدوده تغییرات ضریب اصطکاک نیز افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش فشار وارده از طرف پین بر روی دیسک، میزان ارتعاشات پین بر سطح دیسک نیز افزایش می‌یابد. این ارتعاشات باعث می‌شود که پین یک مسیر کاملا دایره‌ای شکل را روی سطح دیسک طی نکند. این حرکات اضافی باعث می‌شود که ضریب اصطکاک در محدوده بیش‌تری تغییر کند. شکل ۶ نمودار متوسط ضریب اصطکاک را برحسب بار نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

۱) مکانیزم سایش کامپوزیت WC-۱۰٪Co تغییر فرم پلاستیکی و جدا شدن بایندر کبالت از بین ذرات سخت کاربید تنگستن است.

۲) با افزایش بار اعمالی، ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد.

۳) مقاومت به سایش کامپوزیت WC-۱۰٪Co با سختی و چقرمگی شکست آن رابطه مستقیمی دارد.

۴) سختی و چقرمگی بالای کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده نسبت به نوع تجاری آن به دلیل ریزتر بودن اندازه ذرات WC در آن می‌باشد.

۵) مقاومت سایشی کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده از نوع تجاری آن بیش‌تر است که به دلیل اندازه ذره کوچک‌تر و سختی بیش‌تر آن می‌باشد.

مراجع

۱. A. P. Semenov, "Tribology at High Temperature", *Tribology International,* ۲۸, ۱۹۹۵, ۴۵-۵۰.

۲. M. Ahmadian and D. Wexler and A. Calka and T. Chandra, "The Effect of Boron on the Hardness and Fracture Toughness of WC-FeAl-B and WC-Ni_3Al-B Composites", *Materials Science Forum*, ۵۳۹-۵۴۳, ۲۰۰۷, ۹۶۲-۹۶۷.

۳. D. Jianxin and Z. Hui and W. Ze and L. Yansong and Z. Jun, "Friction and Wear Behaviors of WC/Co Cemented Carbide Tool Materials with Different WC Grain Sizes at Tempratures up to ۶۰۰˚C", *Journal of Refractory Metals and Hard Materials,* ۳۱, ۲۰۱۲, ۱۹۶-۲۰۴.

۴. Metal matrix composites, Composite materials handbook, ۱۹۹۹.

۵. A. Y. Mosbah, Ph. D. Thesis, University of Wollongong, ۲۰۰۱.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱: شرایط آزمون سایش

پارامتر	مقدار
دما	۲۵درجه سانتی گراد
مسافت	۲۰۰متر
شعاع مسیر	۱۰میلی‌متر
سرعت چرخش	۶۰ دور بر دقیقه
سرعت لغزش	۰/۰۶۳ متر بر ثانیه

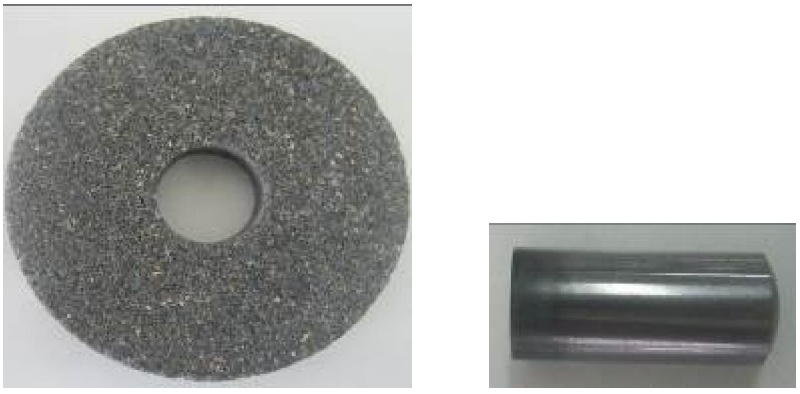
جدول ۲: سختی، چقرمگی شکست و درصد تخلخل دو کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده و تجاری

خاصیت	WC-۱۰٪Co سنتز شده	WC-۱۰٪Co تجاری
سختی (ویکرز)	۱۶۵۰	۱۶۲۷
چقرمگی شکست ($MPa.m^{0.5}$)	۲۲/۰۵۲	۲۱/۵۷۸
تخلخل (درصد)	۱/۴۸۷	۱/۳۵۳

جدول ۳:کاهش وزن و نرخ سایش در بارهای مختلف برای کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده

بار (Kg)	کاهش وزن (mg)	نرخ سایش ($*10^{-5}$ mg / N.m)
۲	۰/۱۱	۲/۷۵
۴	۰/۲۵	۳/۱۲۵
۶	۰/۲۹	۲/۴۱۷
۸	۰/۲۹	۱/۸۱۳
۱۰	۰/۷	۳/۵
۱۰*	۱/۲	۶

*کامپوزیت WC-۱۰٪Co تجاری

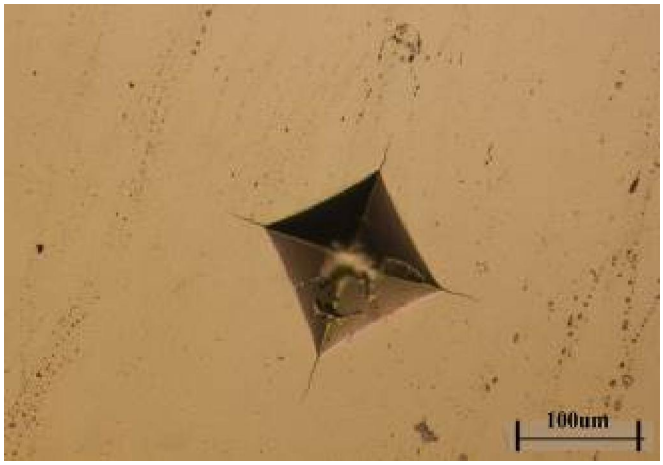


(ب) (الف)

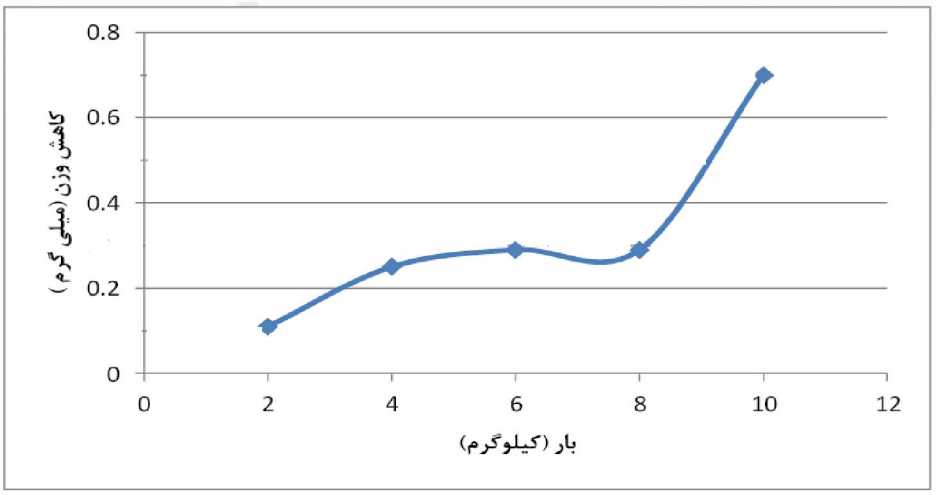
شکل۱: الف) پین سایشی از جنس کامپوزیت کاربید تنگستن- کبالت ب) دیسک ساینده.

www.SID.ir

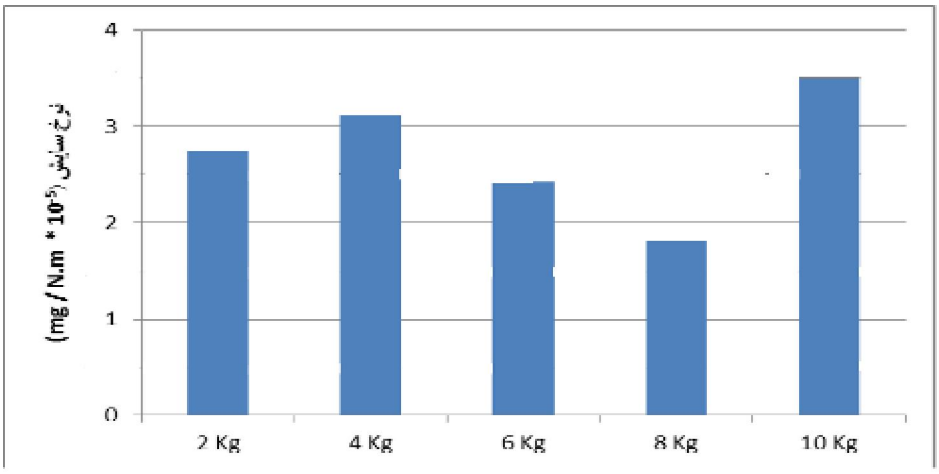
Archive of SID



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ نوری از اثر سختی سنجی ویکرز از نمونه WC-۱۰٪Coتجاری.



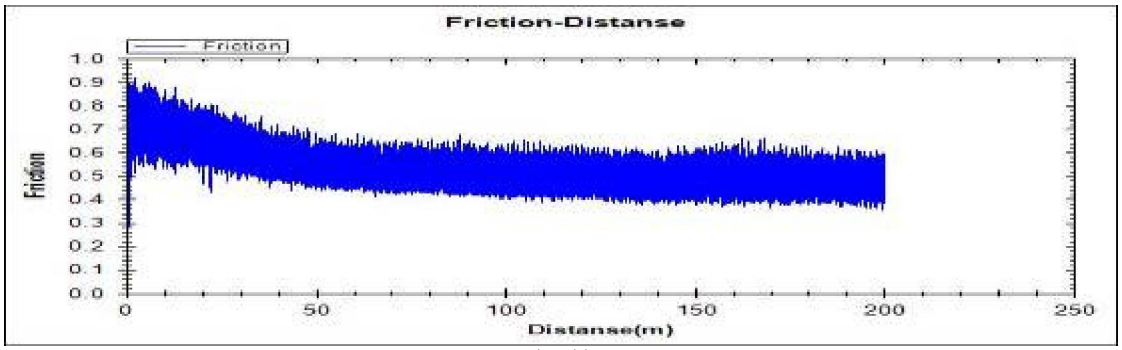
شکل ۳: نمودار کاهش وزن بر حسب بار برای کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده



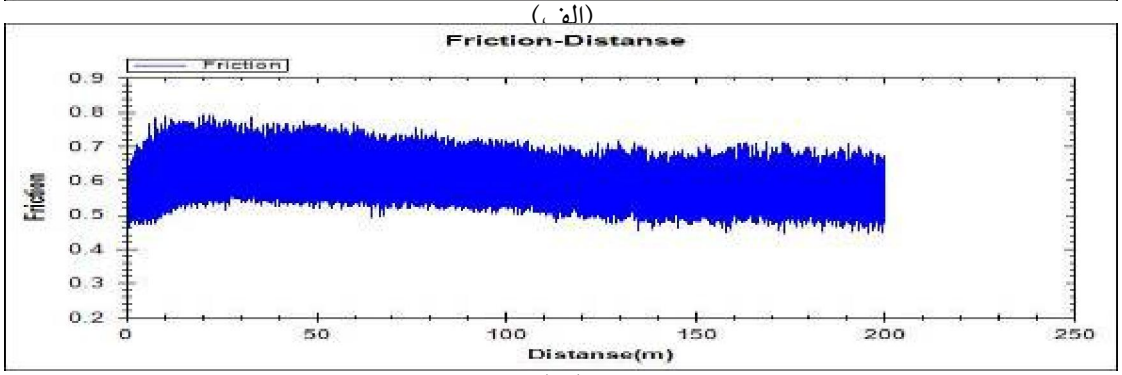
شکل ۴: نمودار نرخ سایش برای بارهای مختلف برای کامپوزیت WC-۱۰٪Co سنتز شده

www.SID.ir

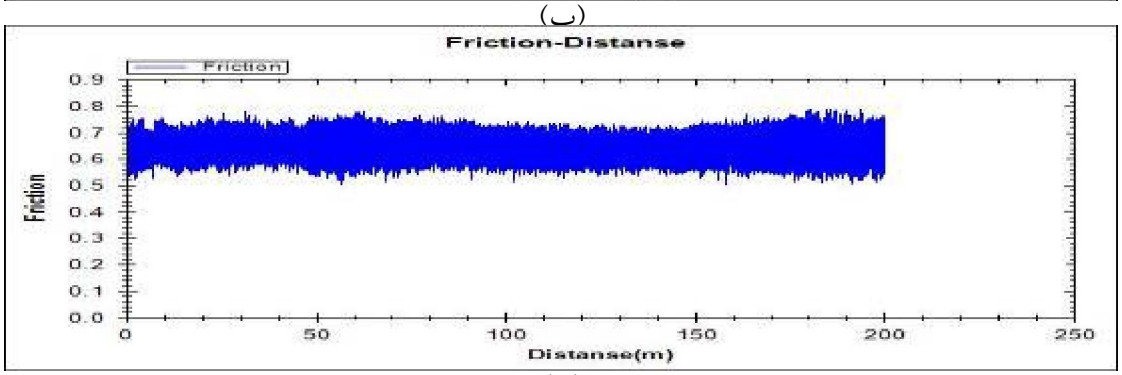
Archive of SID



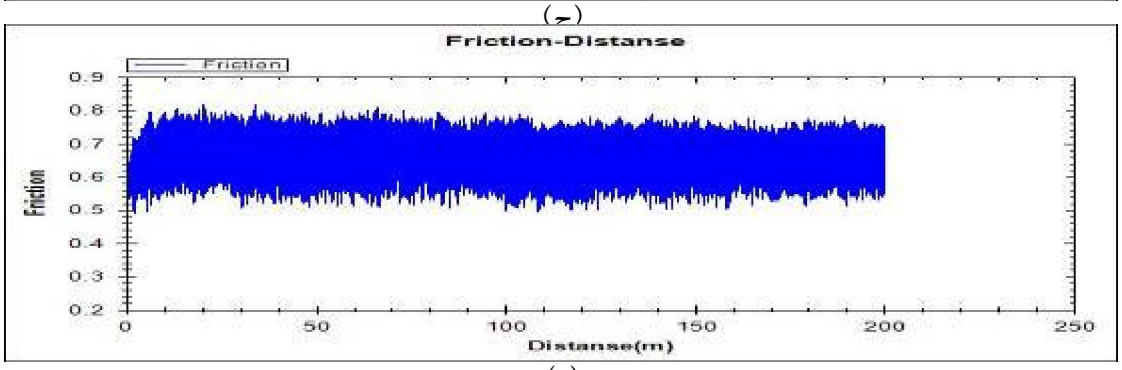
(الف)



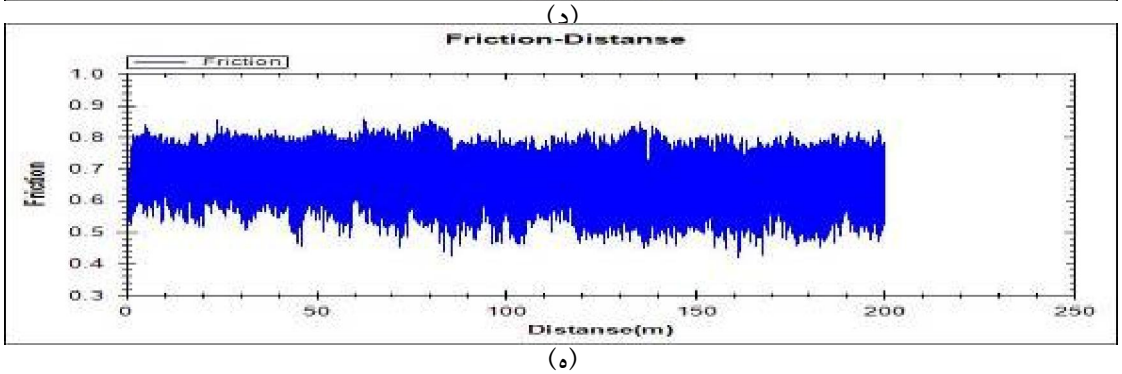
(ب)



(ج)



(د)

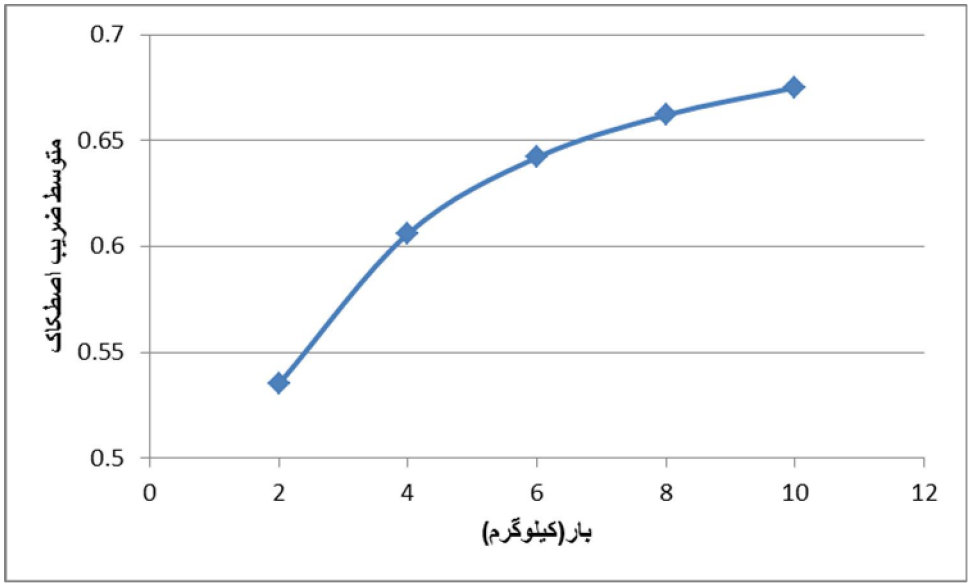


(ه)

شکل ۵: نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت تحت بارهای الف)۲، ب)۴، ج)۶، د)۸ و ه)۱۰کیلوگرم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶: نمودار متوسط ضریب اصطکاک بر حسب بار

www.SID.ir