

اثر پارامترهای مؤثر بر ساخت لایه سایشی پایه برنزی مورد استفاده در صفحه کلاچ خودروهای سنگین

حالت بینایی¹، رسول صراف مأموری^{2*}، سید محسن ظهیر میردامادی³

1- کارشناس ارشد مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

2- استادیار بخش مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

3- مربی بخش مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

* تهران، صندوق پستی 143 - 14115

rsarrafm@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: شهریور 1382، پذیرش مقاله: اردیبهشت 1384)

چکیده - مواد سایشی فلزی غالباً شامل توزیعی یکنواخت از اجزای اصطکاک‌زا در زمینه‌ای فلزی هستند که عموماً از طریق فشردن و سینتر پودرهای فلزی همراه با مقادیری ذرات سخت و در صورت لزوم روانکار جامد، تهیه می‌شوند. این مواد در ساخت قطعاتی که انرژی جنبشی را به حرارت و گشتاور تبدیل می‌کنند (ترمزها و صفحات کلاچ) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تحقیق حاضر به بررسی عوامل مؤثر در ساخت و خواص ماده سایشی پایه برنزی که در ساخت صفحات کلاچ خودروهای سنگین، ترمز هلیکوپتر و غیره و در شرایط سایش خشک کاربرد دارد، پرداخته می‌شود. با توجه به ترکیبات اصلی موجود در مواد سایشی پایه برنزی چهار ترکیب انتخاب و اثر عواملی مانند فشار پرس، دما و زمان سینتر بر خواصی مانند چگالی، تخلخل و سختی آزمایش شد. شرایط فرایند پرس و سینتر مناسب (فشار پرس 5 تن بر سانتیمتر مربع، دمای سینتر 820 درجه سانتیگراد و مدت سینتر 30 دقیقه) با بررسی نمونه‌های تهیه شده در نزدیکترین حالت به نمونه خارجی استخراج شد. مقاومت به سایش در نمونه نهایی حاوی 3% از افزودنیهای سخت مختلف، به کمک آزمون استاندارد سایش ASTM G-105 (بدون ماده ساینده و با دیسک فولادی) تعیین و مقایسه شد. نمونه حاوی کاربید تنگستن، نزدیکترین خواص و ساختار را با نمونه‌های خارجی داشت.

کلیدواژگان: مواد سایشی فلزی، صفحه کلاچ، سایش خشک، متالورژی پودر برنز، ذرات سخت، روانکار جامد، آزمایش سایش.

1- مقدمه

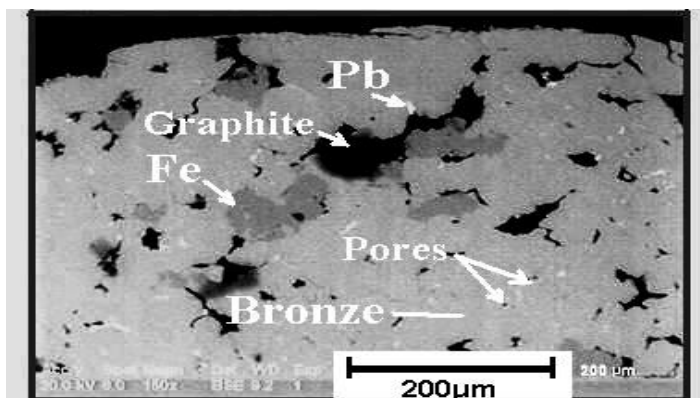
یک با توجه به خواص ذاتی این فلزها کاربردهای خاص خود را دارند [3,2]. از جمله ترکیبات پایه مسی که به طور وسیعی در ساخت مواد سایشی استفاده می‌شود، ترکیبی از برنز همراه با فلزهایی مانند سرب و آهن است. مخلوط پودری این فلزات در کنار مقادیری از ذرات اصطکاک‌زا مانند اکسیدها و کاربیدهای سخت، پس از

ساخت مواد سایشی فلزی به صورت بی‌متال یا دولایه - که متشکل از صفحه‌ای فولادی پوشیده شده از لایه‌ای از مواد سایشی است - در اوایل دهه 1920 میلادی و در مقیاس صنعتی، توسعه یافت [1]. مواد سایشی فلزی به طور کلی به دو دسته پایه آهنی و پایه مسی تقسیم می‌شوند و هر

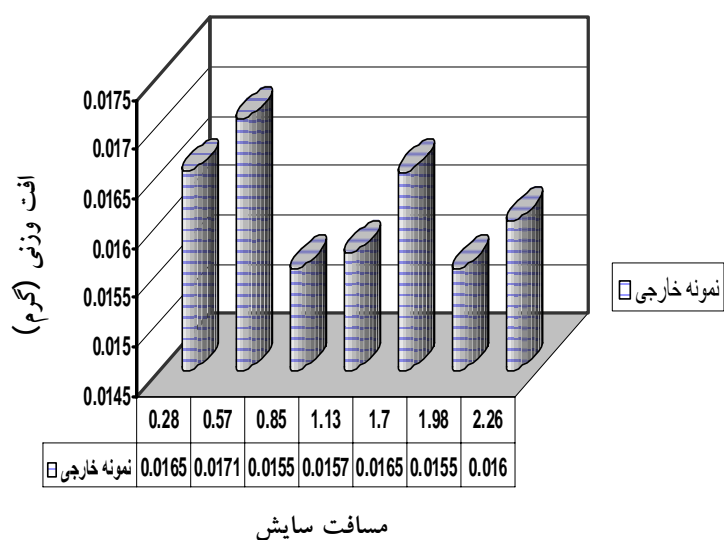
جدول 1 مشخصات به دست آمده از نمونه خارجی

چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)	میکروسختی (ویکرز)
7/43	90/64

نمودار میزان سایش بر حسب مسافت سایش در شکل 2 آورده شده است.



شکل 1 تصویر ریزساختار نمونه خارجی



شکل 2 نرخ سایش نمونه خارجی بر حسب مسافت سایش

در مرحله آزمایشهای عملی مخلوطی از پودرهایی که مشخصات مواد و نسبت آنها در جدول 2 آمده، به صورت چهار ترکیب مختلف تهیه شد.

در انجام مراحل این تحقیق از تجهیزاتی مانند مخلوط کن V شکل، ترازوی دقیق، پرس هیدرولیک 30 تنی، کوره آزمایشگاهی مقاومتی و کوره صنعتی نوار نقاله‌ای¹ با اتمسفر اندوترمیک، دستگاه SEM و دستگاه تحلیل تفرق اشعه ایکس استفاده شد.

انجام فرایند سینتر مناسب، مجموعه‌ای با خواص سایشی مناسب را ایجاد می‌کند [5,4].

فرایند سایش، بسته به حضور یا عدم حضور روانکار (روغن) به ترتیب به دو گروه سایش تر و خشک تقسیم می‌شود. قطعاتی که کارایی آنها در گرو وجود اصطکاک در سطوح تماس است (مانند قطعاتی که کنترل کننده سرعت یا گشتاورند) عموماً در حالت خشک به کار می‌روند. از طرفی تماس مستقیم سطوح فلزی و افزایش تدریجی دما به طور موضعی، احتمال بروز جوش خوردگیهای نقطه‌ای را افزایش می‌دهد که منجر به تخریب سطوح می‌شود. در این موارد از روانکارهای جامد در ترکیب اولیه استفاده می‌شود که در حین فرایند سایش به تدریج وارد فصل مشترک سطوح شده و مانع از تماس مستقیم آنها می‌شود. از روانکارهای جامد رایج می‌توان به گرافیت، MoS_2 و CaF_2 اشاره کرد [6,4]. روش متالورژی پودر با توجه به فراهم ساختن امکانات منحصر به فرد در ساخت مواد مرکب با توزیع کنترل شده و به صرفه بودن از نظر اقتصادی در ساخت این مواد، رواج یافته است [7]. از سوی دیگر ایجاد تخلخل به صورت حفره‌های ریز و پراکنده که در سایش تر به عنوان محل‌های تجمع روغن و در حالت خشک به صورت عوامل خنک کننده سطح و زداینده ذرات ناشی از سایش عمل می‌کنند، از این روش امکان‌پذیر است [9,8].

2- روش تحقیق

نمونه خارجی به منظور مقایسه نمونه‌های آزمایشی با این نمونه تحت آزمایشهای اندازه‌گیری چگالی و سختی سنجی قرار گرفت که در جدول 1 این مقادیر آورده شده است.

تصویر ریزساختار و ترکیب این نمونه توسط دستگاه SEM در شکل 1 مشاهده می‌شوند در نهایت مقاومت سایش این نمونه مشابه آزمون سایش سایر نمونه‌ها انجام شد.

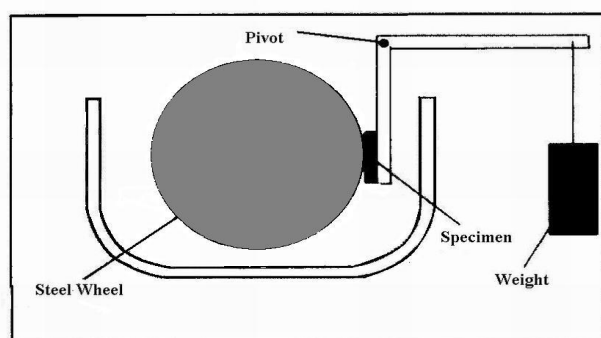
جدول 2 مشخصات و درصد وزنی پودرهای استفاده شده در ساخت نمونه ها

پودر	درصد وزنی				مشخصات
	نمونه 1	نمونه 2	نمونه 3	نمونه 4	
برنز 10-90	85	85	80	90	$100\mu\text{m}$ = اندازه متوسط ذره، خلوص بیش از 99%
سرب	10	10	10	10	$5\mu\text{m}$ = اندازه متوسط ذره، خلوص بیش از 99%
آهن	-	5	5	-	$63\mu\text{m}$ = اندازه متوسط ذره، خلوص بیش از 99/8%
گرافیت	5	-	5	-	خلوص بیش از 93% و $4\mu\text{m}$ < اندازه ذره

مشخصات آنها در جدول 3 آمده، به آنها افزوده شد. به منظور بررسی امکان تشکیل کاربید تنگستن در حین فرایند سینترینگ به برخی از نمونه‌ها 3% تنگستن افزوده شد. نهایتاً نرخ سایش این نمونه‌ها به کمک دستگاه آزمایش سایش ساخته شده بر طبق استاندارد ASTM-105 تعیین شد. با توجه به شرایط عملی سایش در کلاچ، بخش افزایش ذرات ساییده در آزمایش سایش حذف شد و دیسک فولادی جایگزین دیسک لاستیکی شد. بار اعمالی بر نمونه‌ها 222 نیوتن بوده و در هر 600 دور چرخش دیسک که با سرعت 285 دور در دقیقه می‌چرخید، میزان کاهش وزن اندازه‌گیری شد. طرحواره نحوه انجام این آزمایش در شکل 3 آورده شده است.

جدول 3 متوسط اندازه دانه ذرات سخت

نوع پودر	متوسط اندازه دانه (میکرون)
کاربید سیلیسیم	20-24
کاربید تنگستن	17-21
تنگستن	2-7



شکل 3 طرحواره نحوه انجام آزمایش سایش

نمونه‌های خام در فشارهای 1، 3، 5 و 7 تن بر سانتیمتر مربع تهیه و در شرایط مناسب سینتر مواد پایه برنزی (دمای 825 درجه سانتیگراد، زمان 20 دقیقه و تحت اتمسفر احیائی) سینتر شدند. بررسی خواصی مانند سختی، چگالی و درصد تخلخل در حالت سینتر شده و مقایسه آنها با نمونه خارجی، فشار پرس مناسب را مشخص کرد. لازم است ذکر شود که میزان تخلخل در نمونه‌ها از طریق رابطه زیر تعیین شده است.

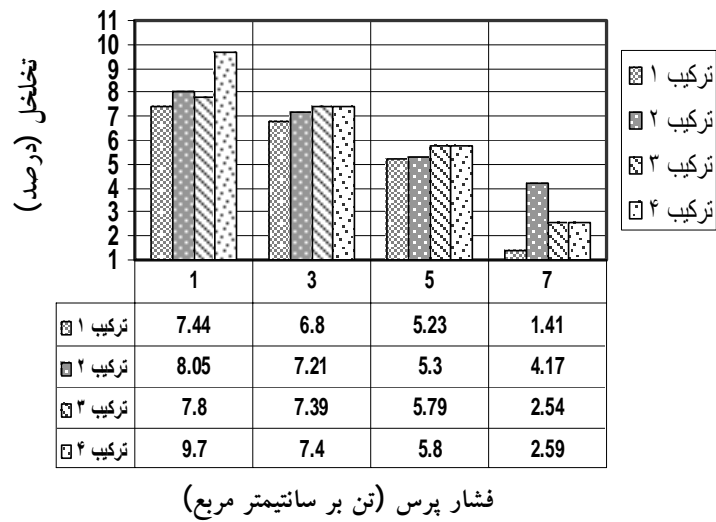
$$\text{درصد تخلخل} = 100 - \frac{100 \times D_s}{D_t} \quad (1)$$

که در آن D_s چگالی نمونه سینتر شده و D_t چگالی تئوری نمونه‌ها با توجه به ترکیب آنهاست. در مرحله بعد نمونه‌ها در فشار پرس تعیین شده تهیه و در دماهای 770، 820 و 870 درجه سانتیگراد به مدت 20 دقیقه و تحت اتمسفر احیائی سینتر شدند. سختی، چگالی و درصد تخلخل در این نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری و مقایسه و دمای سینتر بهینه در این مرحله با توجه به خواص نمونه خارجی انتخاب شد. به منظور بررسی زمان سینتر مناسب، نمونه‌ها در فشار پرس و دمای تعیین شده به مدت 30، 60 و 120 دقیقه و تحت اتمسفر احیائی تهیه شد. بررسی مقادیر چگالی، تخلخل و سختی مناسبترین زمان سینتر را مشخص کرد. در این مرحله نمونه‌هایی از چهار ترکیب و در شرایط مناسب تهیه شد و با توجه به خواص و ساختار نمونه خارجی و نقش اجزاء مختلف ترکیب در خواص، ساختار و ترکیب مناسب انتخاب و 3% از ذرات سختی که

3- نتایج و بحث

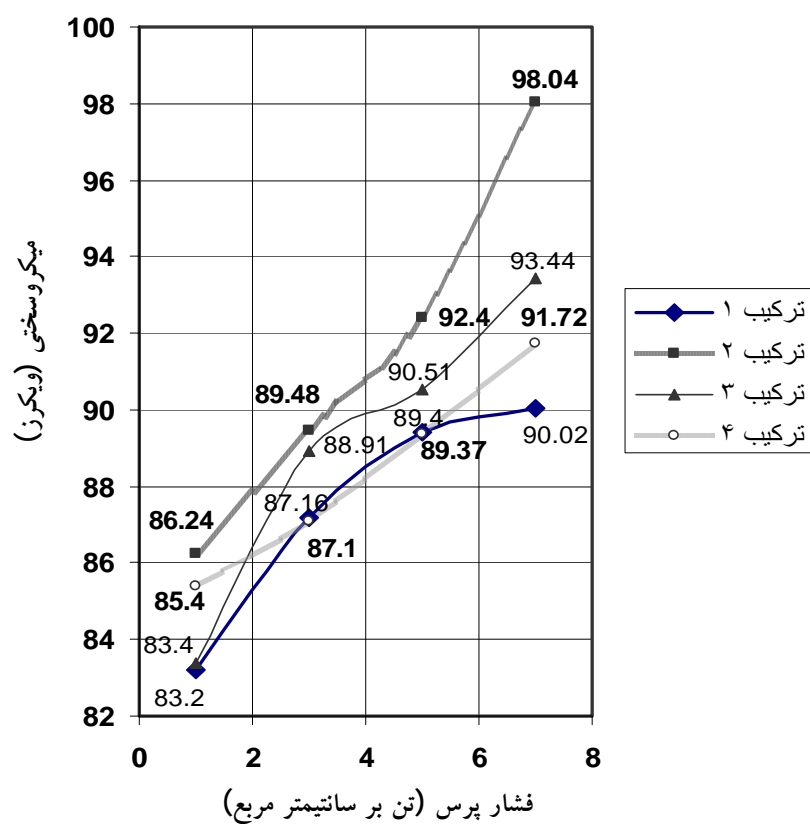
3-1- اثر فشار پرس

نتایج به دست آمده از بررسی اثر فشار پرس بر خواصی مانند چگالی، تخلخل و سختی، مربوط به نمونه‌های تهیه شده از 4 ترکیب که در دمای 825 درجه سانتیگراد و زمان 20 دقیقه و تحت اتمسفر احیائی، سینتر شدند، در نمودارهای 4 تا 6 آورده شده است.



شکل 5 نمودار تغییرات تخلخل ترکیبهای مختلف

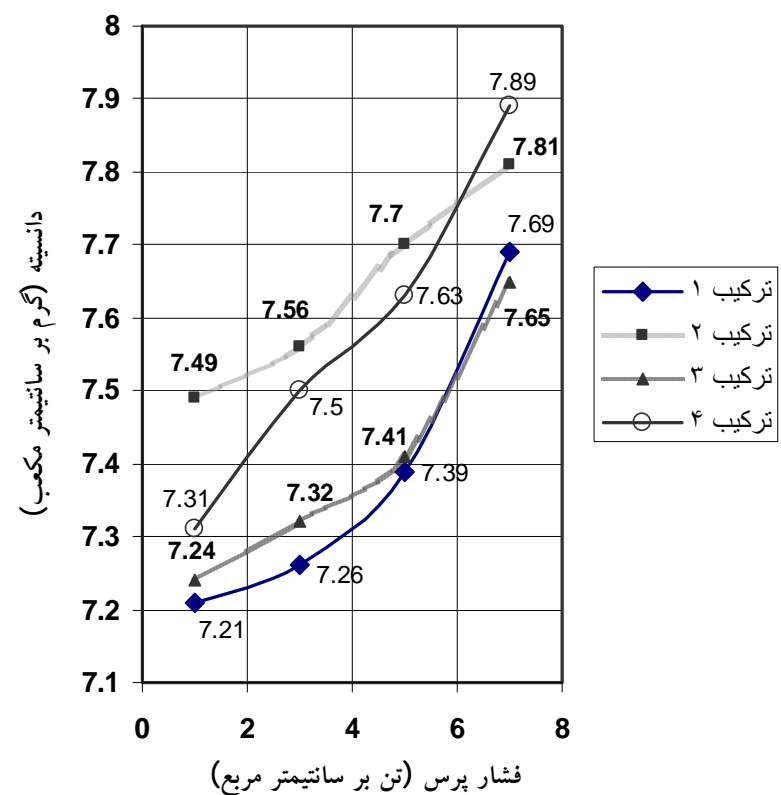
بر حسب فشار پرس



شکل 6 نمودار تغییرات میزان سختی ترکیبهای مختلف

بر حسب فشار پرس

این افزایش انباشتگی در مورد پودرهائی که حاوی اجزایی با خواص روانکاری هستند مانند گرافیت، به سهولت و در فشارهای کمتری حاصل می‌شود. ساختارهایی که در حالت خام، چگالی و فشردگی بالاتری دارند، پس از فرایند سینتر نیز ساختاری چگالی‌تر خواهند داشت. با توجه به شکل 5 می‌توان دریافت که میزان تخلخل باقیمانده پس از سینتر، در تمامی موارد رابطه‌ای معکوس با افزایش فشار پرس دارد. با توجه به میزان تخلخل ساختارهای حاصل از سینتر چهار ترکیب مورد تحقیق، که در فشارهای مختلف پرس شده‌اند و همچنین



شکل 4 نمودار تغییرات میزان چگالی پس از سینتر

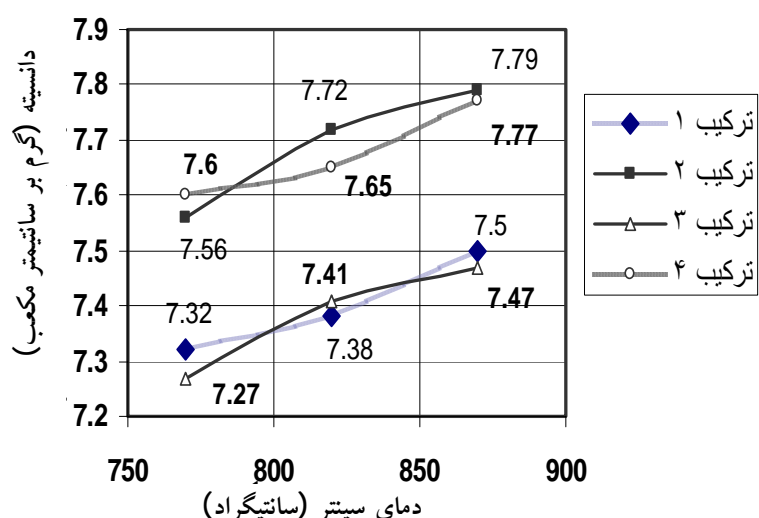
ترکیبهای مختلف بر حسب فشار پرس

چنانچه انتظار داریم و با توجه به شکل 4، در تمام نمونه‌ها (ترکیبات مختلف) با افزایش فشار پرس، چگالی در حالت سینتر شده، افزوده شده است. زیاد شدن فشار در مرحله نخست، سبب تغییر شکل در سطوح تماس ذرات پودر می‌شود و نهایتاً تغییر شکل پلاستیک در ذرات پودر از میزان تخلخل می‌کاهد.

این اعمال فشار در واقع سبب کارسختی پودرهای فلزی می‌شود و جوش سرد ایجاد شده در سطوح تماس ذرات پودر باعث ایجاد استحکام قطعه خام می‌شود. اگر فشار در مقادیر بیشتری (حدود 7 تن بر سانتیمتر مربع) اعمال شود ذرات کارسخت شده، متلاشی می‌شوند و میزان تخلخل کل قطعه به شدت افت می‌کند.

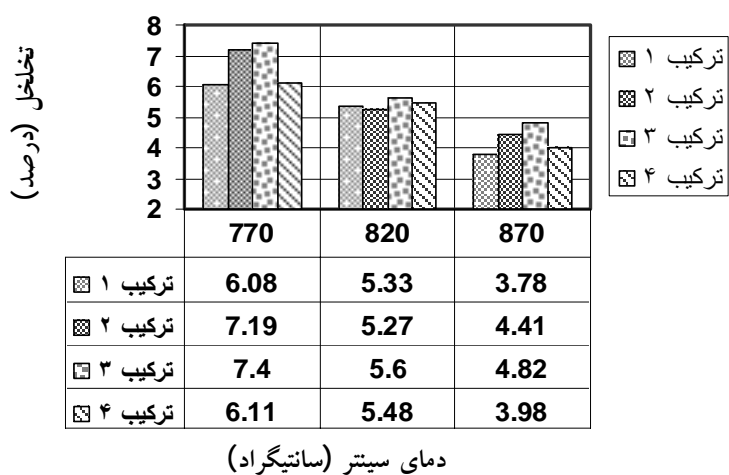
3-2- اثر دمای سینتر

تغییرات چگالی، تخلخل و سختی بر حسب دمای سینتر، مربوط به نمونه‌های تهیه شده از چهار ترکیب که در فشار 5 تن بر سانتیمتر مربع پرس شده و در دماهای 770، 820 و 870 درجه سانتیگراد و تحت شرایط سینتر مواد پایه برنزی (به مدت 20 دقیقه و اتمسفر احیائی)، سینتر شده‌اند، در شکل‌های 7 تا 9 آورده شده است.



شکل 7 تغییرات میزان چگالی ترکیبات مختلف

بر حسب دمای سینتر



شکل 8 تغییرات تخلخل ترکیبات مختلف

بر حسب دمای سینتر

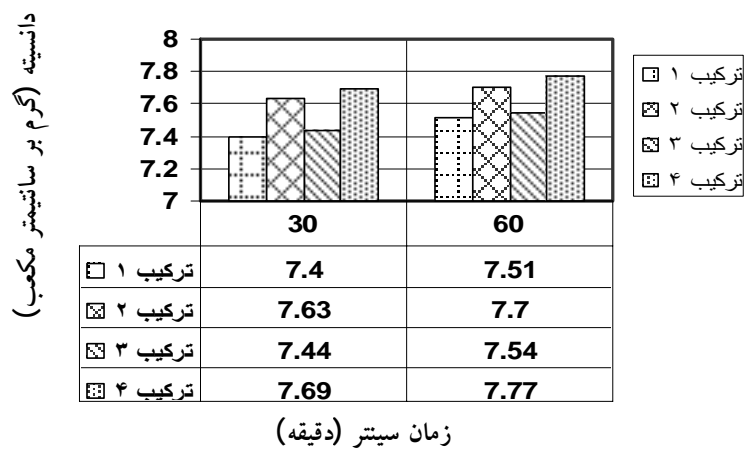
چنانچه در شکل‌های 7 تا 9 مشاهده می‌شود، با افزایش دمای سینتر، چگالی و سختی در تمام ترکیبات افزایش یافته است. در مراحل اولیه فرایند سینتر منافذ موجود بین ذرات پودر شروع به باریک شدن می‌کنند و کم کم به حفره‌هایی با شکل‌های بسته و گرد تبدیل می‌شوند.

مقایسه سختی و چگالی آنها با نتایج به دست آمده از نمونه خارجی، می‌توان دریافت که از نظر میزان سختی نمونه‌های مربوط به ترکیب 1- که در فشارهای پرس 5 و 7 تن بر سانتیمتر مربع تهیه شده - نتایج قابل مقایسه‌ای با نمونه خارجی داشته‌اند. این در حالی است که با وارد ساختن فشاری معادل 7 تن بر سانتیمتر مربع، از میزان تخلخل به مقدار قابل توجهی کاسته خواهد شد (1/14%). با توجه به مقادیر چگالی در ترکیب 1 می‌توان چنین نتیجه گرفت که فشار پرس 5 تن بر سانتیمتر مربع، چگالی نزدیک به چگالی نمونه خارجی ایجاد کرده است. بررسی تخلخل، چگالی و سختی نمونه‌های ترکیب 2 و مقایسه آن با مشخصات بدست آمده از نمونه خارجی نیز نشان داد که میزان فشار مناسب با توجه به مقادیر سختی، حدود 3 تا 5 تن بر سانتیمتر مربع است. از طرفی چگالی مشابه با چگالی نمونه خارجی در فشارهای کم (1 تن بر سانتیمتر مربع) حاصل شده است که در ضمن، ساختاری متخلخل عاید می‌کند. فشار 7 تن بر سانتیمتر مربع، سبب افزایش میزان سختی و چگالی نمونه‌ها همچنین کاهش میزان تخلخل در این ساختارها شده است که در مجموع ساختار قابل قبولی را در مقایسه با نمونه خارجی، ایجاد نمی‌کند. در نمونه‌های مربوط به ترکیب 3- که شامل پودر آهن و پودر گرافیت هستند - چنانچه از نتایج می‌توان دریافت و همچنین با توجه به میزان سختی و چگالی در نمونه خارجی، ساختارهایی که تحت فشار 5 تن بر سانتیمتر مربع پرس شده‌اند، بهترین نتایج را خواهند داشت. نتایج مناسب سختی و میزان تخلخل در نمونه‌های ترکیب 4 نیز، فشارهای پرس 5 تا 7 تن بر سانتیمتر مربع را به عنوان مناسبترین محدوده فشار پرس تأیید کردند. به‌طور کلی و با توجه به نتایج به دست آمده، مقایسه این کمیتها با نتایج بدست آمده از نمونه خارجی، فشار 5 تن بر سانتیمتر مربع به عنوان بهترین فشار پرس - که منجر به ایجاد ساختار قابل قبولی در مقایسه با سایر فشارها در چهار ترکیب مورد آزمایش، می‌شود - انتخاب شد.

توجه به شکل 9 میزان سختی در نمونه‌هایی که در دمای 820 درجه سانتیگراد سینتر شده‌اند، به سختی نمونه خارجی نزدیک شده است. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که سینتر نمونه‌ها در دمای 820 درجه سانتیگراد، مناسبترین ساختار و شبیه‌ترین خواص را به نمونه خارجی در این ترکیبات عاید می‌کند.

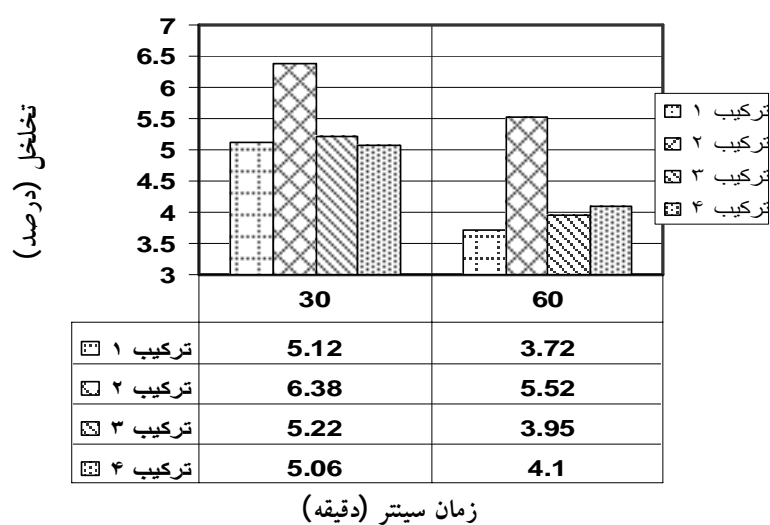
3-3- اثر زمان سینتر

نمودارهای مربوط به تغییرات چگالی، تخلخل و سختی بر حسب زمانهای سینتر 30 و 60 دقیقه، نمونه‌های پرس شده در فشار 5 تن بر سانتیمتر مربع و سینتر شده در دمای 820 درجه سانتیگراد در شکل‌های 10 تا 12 آورده شده است.



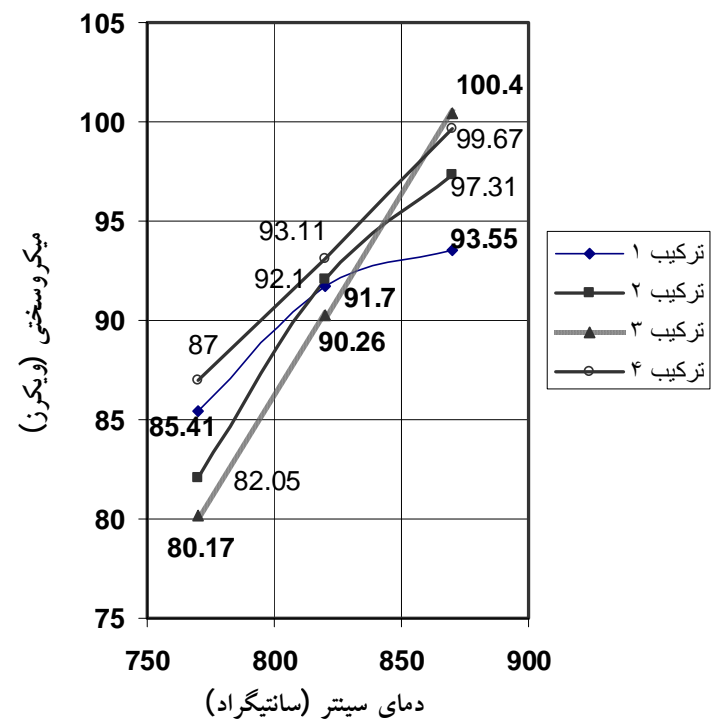
شکل 10 تغییرات چگالی ترکیبات مختلف

بر حسب زمان سینتر



شکل 11 تغییرات تخلخل ترکیبات مختلف

بر حسب زمان سینتر



شکل 9 تغییرات سختی ترکیبات مختلف

بر حسب دمای سینتر

دمای سینتر در مقایسه با سایر پارامترهای مؤثر بر این فرایند مانند اندازه ذرات پودر، چگالی خام و زمان سینتر، تاثیر بیشتری دارد. افزایش بیش از حد دمای سینتر، پدیده‌ای مضر در ساخت قطعات سایشی فلزی محسوب می‌شود؛ زیرا به سبب افزایش انقباض و اعوجاج‌های سطحی در قطعه، رشد دانه، موجب زیاد شدن هزینه‌های تولید شده و همچنین عاملی است که به‌سرعت از درصد تخلخل قطعه می‌کاهد، به منظور فراهم کردن شرایط نفوذ اجزای مختلف و جلوگیری از سیالیت زیاد فازهای زود ذوب مانند سرب و رشد بی رویه دانه‌های زمینه، دماهای سینتر بالا (870 درجه سانتیگراد) در هر چهار ترکیب نامناسب تشخیص داده شد.

نتایج شکل 7 نشان می‌دهند که چگالی ترکیب‌های 1 و 3 که در دماهای 820 و 870 درجه سانتیگراد سینتر شده‌اند، با چگالی نمونه خارجی همخوانی مناسبی دارند. در صورتی که نمونه‌های تهیه شده از ترکیبات 2 و 4 به سبب نوع ترکیب در هر سه دمای سینتر چگالی با نمونه خارجی متفاوتند.

افزایش دمای سینتر کاهش شدیدی را در میزان تخلخل تمامی ترکیبات ایجاد نکرده است. از طرفی با

در زمانهای سینتر طولانی، روند کاهش درصد تخلخلها به آرامی می‌گراید در صورتی که منافذ ریز از بین رفته و در عوض حفره‌های درشت‌تر شروع به رشد می‌کنند که سبب افت خواص مکانیکی می‌شوند.

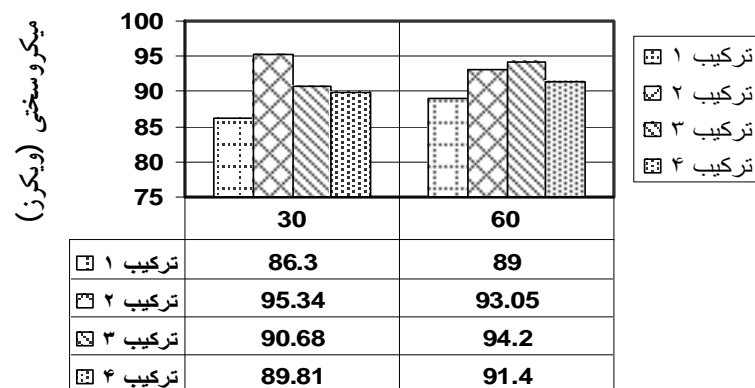
با توجه به چند جزئی بودن ترکیبات، زمان طولانی سینتر، احتمال کاهش کنترل ابعادی و ایجاد ناهمواریهای سطحی را افزایش می‌دهد. از طرفی با افزایش زمان حضور نمونه‌های حاوی گرافیت در دمای بالا، احتمال اکسیداسیون این فاز حتی در اتمسفرهای محافظت شده، افزایش می‌یابد.

با توجه به این عوامل و همچنین افزایش هزینه‌های فرایند سینتر در زمانهای سینتر طولانی و نیز با مقایسه کمیتهای حاصل از بررسی خواص نمونه خارجی، زمان 30 دقیقه به عنوان زمان مناسب در سینتر نمونه‌هایی که در مراحل بعدی آزمایش شدند، استفاده شد. همچنین در این مرحله تشابه خوبی بین خواص نمونه تهیه شده از ترکیب 3- که به مدت 30 دقیقه سینتر شده بود- با نمونه خارجی مشاهده شد. با توجه به نتایج و خواص آنها در شرایط سینتر مختلف، ترکیب 3 به عنوان ترکیب نزدیک به نمونه خارجی در ادامه آزمایشها استفاده شد.

4-3- اثر افزودنیهای سخت

جدول 4 مربوط به مقادیر سختی نمونه‌هایی با زمینه ترکیب 3 و حاوی 3% کاربید تنگستن، کاربید سیلیسیم و تنگستن است. چنانچه مشاهده می‌شود سختی نمونه حاوی کاربید سیلیسیم از سایر نمونه‌ها بیشتر است که این به سبب سخت‌تر بودن این ماده (SiC با سختی 9 در مقیاس موس) در مقایسه با کاربید تنگستن (با سختی 8) است.

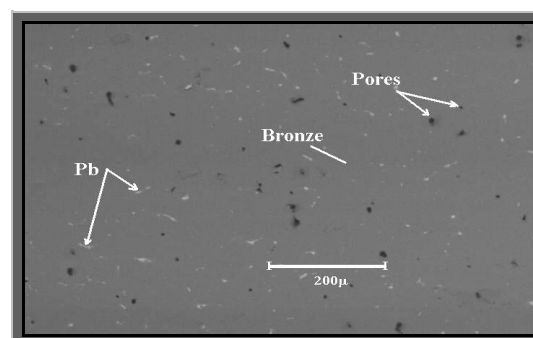
با توجه به تحلیل تفرق اشعه ایکس به دست آمده از نمونه حاوی تنگستن، مشاهده شد که شرایط سینتر و اتمسفر به کار رفته در سینتر این نمونه‌ها (حاوی منوکسید کربن) نتوانسته امکان انجام واکنش تنگستن با کربن موجود در



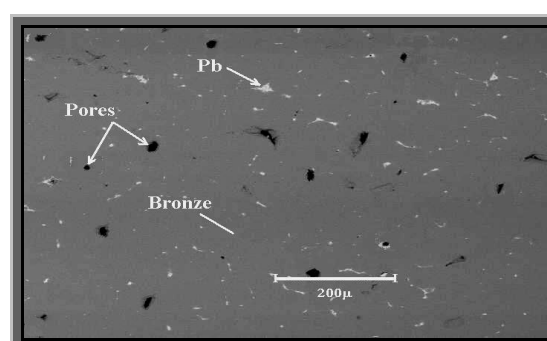
شکل 12 تغییرات سختی ترکیبات مختلف بر حسب زمان سینتر (دقیقه)

نمونه‌های سینتر شده در زمان 120 دقیقه دچار ذوب جزئی و قسمتهایی از ترکیب به صورت قطره‌هایی از مذاب، در حین سینتر خارج شد. با مشاهده و مقایسه نتایج مربوط به نمونه‌هایی که به مدت 30 و 60 دقیقه سینتر شده‌اند، می‌توان دریافت که افزایش زمان در فرایند سینتر منجر به تشکیل ساختارهایی نسبتاً چگالتر شده است.

باتوجه به تصاویر ریزساختار دو نمونه که از ترکیب 4 تهیه شدند و در زمانهای 30 و 60 دقیقه سینتر شده‌اند (شکل 13)، می‌توان دریافت که با افزایش زمان سینتر، اندازه حفره‌ها بزرگتر شده است.



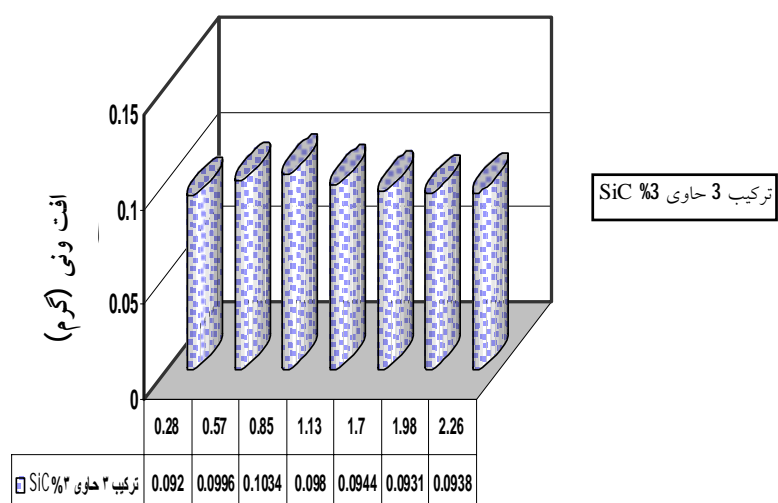
(الف)



(ب)

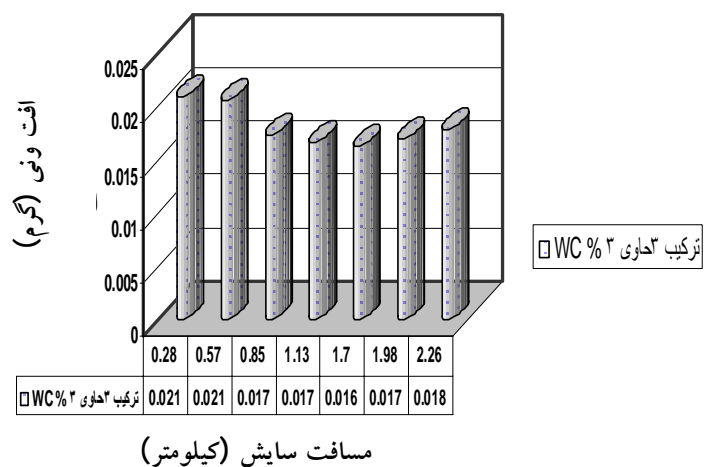
شکل 13 تصویر ریزساختار نمونه‌های ترکیب 4 سینتر شده در دمای 820 درجه سانتیگراد به مدت‌های (الف) 30 دقیقه (ب) 60 دقیقه

در قطعات مختلف ایفا می‌کنند - که تلفیقی از ایجاد اصطکاک لازم به منظور امکان انتقال انرژی به‌همراه با خواص مناسب سایشی و عمر مفید قابل قبول است - برای هر کاربرد، با در نظر گرفتن بار وارده می‌توان ترکیب مناسب را برگزید. علاوه بر سختی ذرات افزودنی، عامل اندازه دانه این ذرات نیز در میزان سایش موثر است. ذرات درشت طبیعتاً منجر به سایشهای شدیدتر خواهند شد.



مسافت سایش (کیلومتر)

شکل 15 منحنی نرخ سایش در نمونه تهیه شده از ترکیب 3 حاوی کاربید سیلیسیم



مسافت سایش (کیلومتر)

شکل 16 منحنی نرخ سایش در نمونه تهیه شده از ترکیب 3 حاوی کاربید تنگستن

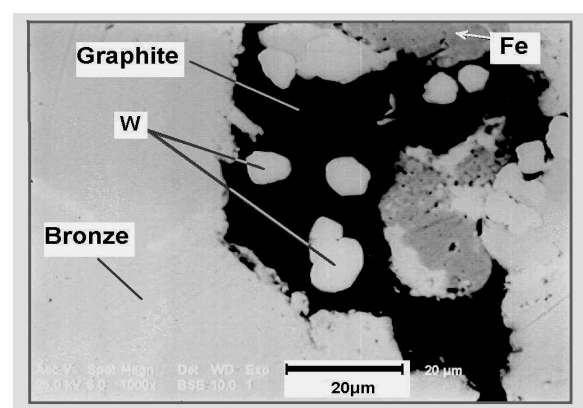
4- نتیجه‌گیری

1- فشار پرس به عنوان عاملی تعیین کننده در چگالی پس از سینتر و سختی نمونه‌ها به میزان 5 تن بر سانتیمتر مربع، بهترین و نزدیکترین خواص را در نمونه‌ها با نمونه خارجی ایجاد کرد.

ترکیب و اتمسفر را فراهم آورد. شکل 14 تصویر ذرات تنگستن را در مجاورت فاز گرافیت نشان می‌دهد.

جدول 4 سختی نمونه‌های حاوی مواد افزودنی سخت

نمونه	میکروسختی (ویکرز)
ترکیب 3 حاوی 3% کاربید سیلیسیم	121/17
ترکیب 3 حاوی 3% کاربید تنگستن	114/9
ترکیب 3 حاوی 3% تنگستن	97/82



شکل 14 ذرات تنگستن در مجاورت فاز گرافیت نتایج مربوط به آزمایش سایش

3-5- نتایج آزمون سایش

نتایج مربوط به افت وزنی بر حسب مسافت طی شده توسط نمونه در طول فرایند سایش در شکل‌های 15 و 16 مشاهده می‌شود. چنانچه مشاهده می‌شود بیشترین نرخ سایش، مربوط به نمونه‌های حاوی کاربید سیلیسیم است که این امر با توجه به سخت‌تر بودن این ذرات، قابل توجیه است. با توجه به نمودارهای آزمون سایش می‌توان دریافت که سایش زیاد بر نمونه‌های حاوی کاربید سیلیسیم در اثر درگیری این ذرات با سطح ساینده، از طرفی در افزایش ضریب اصطکاک بین سطوح تماس مؤثر بوده و از طرف دیگر حرکت نسبی دو سطح در حال سایش، سبب ساییدگی در مقادیر بیشتر و در نتیجه کاهش عمر مفید این ترکیب خواهد شد. ترکیب حاوی کاربید تنگستن از نظر نرخ سایش وضعیت مشابهی با سایش نمونه خارجی نشان داد. با توجه به نقشی که مواد سایشی

5- منابع

- [1] F.V. Lenel, Powder Metallurgy Principles and Applications, 1980, Metal Powder Industries Federation.
- [2] S. Ozsever, P/M Friction Materials, ASM Handbook, vol. 15, pp. 701-703.
- [3] G.S. Upadhyaya, Sintered Metallic and Ceramic Materials, 1999, Wiley.
- [4] J. Kettell, Using Powder Metallurgy for Friction Materials, Using Powder Metallurgy in Design, 2000, IMechE Seminar Pub., pp. 67-72.
- [5] G.Kingsbury, Friction and Wear of Sliding Bearing Materials, ASM Handbook, vol. 18, pp. 741-757.
- [6] H. Ahmadi, The Role of Constituent Elements in Copper Base Friction Materials, International Conference on Powder Metallurgy for Automotive Parts, Isfahan, Iran April 2002.
- [7] E. Klar, Powder Metallurgy Applications Advantages and Limitations, 1983, American Society for Metals.
- [8] B. Collins, The US Friction Materials Industry, Friction and Antifriction Materials, Plenum press, 1970, Chap. 1, pp. 3-7.
- [9] F. Palkin, Friction Wear Lubrication Tribology Handbook, vol. 1, 1981, Mir pub.

2- نمونه‌های سینتر شده در دمای 820 درجه سانتیگراد نیز در مقایسه با نمونه‌های سینتر شده در دماهای 770 و 870 درجه سانتیگراد، دارای ساختاری با خواص شبیه به نمونه مشابه خارجی بودند.

3- زمانهای سینتر طولانی (120 دقیقه) منجر به جدایش بخشهای زود ذوب نمونه‌ها شد و بررسی اثر زمان سینتر نشان داد که زمان 30 دقیقه در دستیابی به ساختار مناسب در نمونه‌ها کافی است.

4- بررسی ساختار نمونه‌هایی که حاوی 3% ذرات سخت بودند، نشان داد که ذرات تنگستن که به منظور بررسی امکان تشکیل کاربید تنگستن در شرایط سینترینگ و در حضور گرافیت به تعدادی از نمونه‌ها افزوده شد، در ساختار پس از سینتر باقی مانده‌اند.

5- ذراتی که به عنوان عوامل افزایشده اصطکاک سطح تماس به ترکیب سه افزوده شد، بر نرخ سایش نمونه‌ها تأثیر داشته و بسته به اندازه و سختی آنها، میزان افت وزنی نمونه‌ها متغیر بوده است. مقایسه نتایج آزمون سایش نشان داد که ذرات SiC به سبب درشتی نسبی و سختی بالاتر، در حین سایش کنده شده و خود سبب افزایش سایش در نمونه‌ها شده‌اند. در حالی که ذرات WC موجب افت نرخ سایش شده و روند ساییدگی نمونه‌ها، نسبت به سایر نمونه‌ها وضعیت مشابهی با سایش نمونه خارجی داشته است.