

Properties of SAE660 Bronze Bearing at Four Different Casting Conditions

Sina Karimifer¹, Hamed Kalvand², Seyed Ebrahim Vahdat³*

1. M.Sc. Student, Department of Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

2. M.Sc. in Metallurgy and Materials Engineering, Payvaran Parsian Company, Saveh, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

Received 11 August 2018 Accepted 29 September 2018	Abstract:						
	The goal of this research is to investigate the effect of two of casting parameters; i.e.; coolin rate and pouring temperature on the hardness and wear resistance via pin on disc of bearin bronze SAE660. The melting carried out in an induction furnace followed by pouring in san mold in four different pouring temperatures of 950 and 1200°C, and cooled with water and an finally, the microstructure via scanning electron microscopy, Vickers hardness and wear resistance via pin on disc of the SAE660 bronze had been compared. The results indicated that the effect of pouring temperature can be ignored for wear resistance and the minimum weigh loss due to wear via pin on disc (or maximum wear resistance) obtained when the sample						
Keywords: Microstructure, Bearing, Pouring, Foundry, Casting.	intermetallic compounds and the phase of solid solution is more in the samples cooled with air compared to water cooled. In addition, maximum hardness obtained for low pouring temperature.						

Journal homepage: www.foundingjournal.ir

Please cite this article using:

Karimifer S., Kalvand H., Vahdat S.E., Properties of SAE660 bronze bearing at four different casting conditions, in Persian, Founding Research Journal, 2018, 2(2) 89-100. DOI: 10.22034/FRJ.2018.144061.1047

* Corresponding Author: Seyed Ebrahim Vahdat, Assistant Professor Address: Department of Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, P.O. Box 678, Amol, Iran. Tel: +98 911 121 4008. E-mail: <u>e.vahdat@iauamol.ac.ir</u>



فصلنامه علمى پژوهشى

یژوهشنامه ریختهگری

خواص برنز یاتاقان SAE660 در چهار شرایط ریختگی متفاوت

سينا كريميفر'، حامد كلوند ٬، سيد ابراهيم وحدت* ٬

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. sinal4l4l4l4@gmail.com ۲- کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، شرکت پایوران پارسیان، شهرک صنعتی پرند، ساوه، ایران hamed.kalvand@yahoo.com ۳- استادیار، دانشکده مهندسی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. e.vahdat@iauamol.ac.ir (نویسنده مکاتبه کننده)

دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۰	چکیدہ:
پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۷	در این پژوهش، اثر دو متغیر دمای بارریزی و سرعت خنککاری در فرآیند ریختهگری در ماسه بر سختی و مقاومت به سایش برنز یاتاقان SAE660 مطالعه شده است. مذاب برنز SAE660 در کوره القایی تهیهشده و سپس ریختهگری آن در قالب ماسهای در چهار شرایط متفاوت شامل دماهای ذوبریزی ۹۵۰ و ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و خنککاری قالب با آب و هوا انجام شده است. ریزساختار با میکروسکوپ الکترونی روبشی، سختی به روش ویکرز و مقاومت به سایش به روش
واژەھاى كليدى: ريزساختار، ياتاقان، ذوبريزى، ريختەگرى، بارريزى.	پین روی دیسک ارزیابی شده است. نتایج حاکی از این است که اثر دمای ذوبریزی روی مقاومت به سایش، قابل صرفنظر کردن است اما کمترین کاهش جرم (یا بیشترین مقاومت به سایش) برای نمونههایی است که قالب آنها در هوا خنک شده است زیرا در این نمونهها، مقدار فازهای سرب، محلول جامد و ترکیب بینفلزی بیشتر است. بهعلاوه، نمونههایی که دمای بارریزی آنها کمتر بوده است، سختی بالاتری داشتند.

۱– مقدمه

در فرایند ریخته گری، فلزات و آلیاژها از طریق ذوب و ریختن به داخل قالب به قطعاتی با شکل، اندازه و جنس دلخواه تبدیل می شوند [۱]، که در این بین، آلیاژهای مقاوم به سایش برنز، مُستَثنی نیستد.

یاتاقانها به عنوان قطعهای فدا شونده و تحت سایش در مجموعه قطعات متحرک دستگاه استفاده می شوند. از طرف دیگر، یاتاقانها بایستی انواع نیروهای محوری و شعاعی را در مقادیر کم و زیاد تحمل نمایند. به این ترتیب، برای فلز یاتاقان، سختی و مقاومت به سایش، دو ویژگی مهم محسوب می شود.

آلیاژهای یاتاقان انواع مختلفی دارند که عمده آنها پایه قلع (بابیت) و یا برنزی هستند. یاتاقان برنزی زمانی استفاده

می شود که شرایط عملکرد یاتاقان مشکل باشد [۳,۲]. ترکیب شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش، برنز CuSn7Pb7Zn3 در محدوده قابل قبول برنز SAE660 و C93200 است که برای ساخت یاتاقان برنزی کاربرد فراوان دارد [۴].

عوامل مؤثر روی خواص محصولات فرآیند ریخته گری (مانند مقدار عناصر، جنس قالب، دمای بارریزی، سرعت بارریزی و غیره) بسیار متنوع هستند که روی ریزساختار و نهایتاً خواص قطعه ریخته گری شده تأثیر می گذارند [۵]. در این تحقیق، دو متغیر مهم شامل دمای بارریزی و سرعت خنک کاری در برنز CuSn7Pb7Zn3 مطالعه می شود.

فرآیندهای ریخته گری زیادی وجود دارد که در هر یک از آنها، طریقه اجرا، نوع عملیات ذوب، جنس قالب و چگونگی

قالبگیری متفاوت است. مثلاً در ریخته گری ریژه یا ثقلی در قالب فلزی از قالبهای دائمی و نیمهدائمی استفاده می شود که به دلیل سرعت انجماد بالاتر و سطح صاف فلزی به ترتیب خواص مکانیکی بالاتر و دقت ابعادی بالاتری دارد. یک روش تولید برای یاتاقان برنزی [۶–۸] و یاتاقان بابیتی [۶–۸] روکش کاری یا لحیم کاری است. در این روش، فلز یاتاقان مذاب داخل پیش قالب فولادی ریخته گری می شود. به عبارت دیگر، ریخته گری ثقلی در قالب فلزی است.

در یاتاقانهای برنزی که استحکام اتصال بین فولاد و برنز کافی نباشد، برای افزایش استحکام اتصال بین برنز و فولاد، محل اتصال جوشکاری میشود [۹]. روش دیگر، استفاده از فرآیند ریخته گری گریز از مرکز است. در این روش، فلز یاتاقان مذاب داخل قالب گریز از مرکز فولادی ریخته گری میشود [۱۱،۱۰].

یاتاقان موجب روانی در حرکت نسبی چرخشی یا خطی بین دو قطعه می شود[۹]. از طرف دیگر، یاتاقان موجب کاهش اصطکاک سطوح درگیر می شود. دو وظیفه مهم یاتاقان در مجموعه قطعات متحرک عبارتاند از [17]:

- ۱- ممانعت از لقی بیش از حد محور از طریق جلوگیری
 از حرکت شعاعی محور.
- ۲- ممانعت از برخورد قسمتهای متحرک از طریق جلوگیری از حرکت جانبی محور.

به این ترتیب، یاتاقان به عنوان قطعهای فدا شونده در مجموعه قطعات متحرک دستگاه، نقش ایفا می کند [۱۳]. از طرف دیگر، انواع نیروهای محوری و شعاعی توسط یاتاقان تحمل میشود [۱۴]. بنابراین، برای عملکرد خوب یک یاتاقان، دو ویژگی مهم شامل سختی و مقاومت به سایش مطرح است[۱۵]. به همین دلیل، در این پژوهش، ویژگیهای سختی و مقاومت سایشی برنز SAE660) مطالعه می شود.

هدف این پژوهش ارزیابی سختی و مقاومت به سایش فلز یاتاقان تولید شده به روش ریخته گری در قالب ماسهای است. تاکنون پژوهشهای محدودی بر روی تأثیر سرعت خنککاری قالب و دمای ذوبریزی (یا دمای بارریزی یا دمای ریخته گری) بر روی مقاومت سایشی و سختی فلز یاتاقان برنز SAE660 در شرایط تولید ریخته گری در قالب

ماسهای انجام شده است. در این پژوهش، بخشی از این کاستی، مرتفع میشود.

۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق، برای تهیه ذوب از کوره القایی استفاده شد. برای دمای پایین ذوبریزی از فرکانس (P) یعنی ۹۰ هرتز و برای دمای بالای ذوبریزی از فرکانس ۱۱۰ هرتز استفاده شده است. جنس قالب، ماسهای با نگهدارنده فولادی و شکل آن، استوانه به ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۱۰ میلیمتر، برای ۶۵ کیلوگرم شارژ، بوده است. باریزی در دو دما، یکی با دمای ذوبریزی بالا، یعنی ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد، و دیگری در شده است. به علاوه، برای هر دما، قالب، یکبار در هوا و بار شده است. به علاوه، برای هر دما، قالب، یکبار در هوا و بار دیگر، با آب خنک شده تا قالب با سرعت بیشتری سرد شود. مراحل انجام پژوهش در شکل (۱) آورده شده است. همچنین ترکیب شیمیایی مذاب، نحوه خنک شدن قالب و دمای باریزی مطابق جدول(۱) است.

تهیه مواد اولیه خام برای ساخت برنز SAE660.
▼
عملیات ذوب و قالبگیری در ماسهای
∀
ریختهگری برنز در قالب ماسهای در دو دمای ۱۲۰۰ و ۹۵۰ درجه
سانتی گراد (در هر دمای بارریزی، نگهدارنده یک قالب با پاشش آب
خنک شد تا سرعت خنککاری قالب افزایش یابد).
کنترل ترکیب شیمیایی و ارزیابی ریزساختار
ارزیابی سختی و مقاومت به سایش نمونهها

شكل ۱- مراحل تهيه نمونه و انجام آزمايشها

آزمون سایش با پین به قطر ۳ میلیمتر از جنس فولاد ابزار AISI52100 و با سرعت ۲۶/۰ متر بر ثانیه (یا سرعت دوران ۴۴۰ دور در دقیقه) و نیروی ۱۰ نیوتن و در مسافت ۴۴۰ متر در دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفت. به علاوه، اندازه گیری سختی برینل با ساچمه به قطر ۲/۵ میلیمتر در نیروی ۶۲/۵ کیلوگرم نیرو در مدت ۱۰ تا ۱۵ ثانیه و مطالعه TESCAN ریزساختار با میکروسکپ الکترونی روبشی

VEGA در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام شد. درصد حجمی فازها از طریق محاسبه نسبت سطح اشغال شده توسط هر فاز به کل سطح زمینه با کمک سه تصویر میکروسکپ الکترونی در مقیاس ۲۰۰ میکرومتر (در بزرگنمایی ۱۵۰ برابر) به دست آمد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی و دمای بارریزی فلز یاتاقان برنزی

	آهن	نيكل	گو گر د	فسفر	سرب	قلح	روى	مس	عنصر	محیط خنک کاری قالب	دمای بارریزی درجه سانتی گراد	نمونه
		. /	1.1.2	•/١٣	13/8	۶/۵	۲/۷	بقيه	درصد وزنی	ĩ	17	١
	. 18 4									اب	۹۵۰	٢
	•/11	•/ 17								1	17	٣
									هوا	۹۵۰	۴	

۳- نتايج و بحث

شرایط مختلف تولید شامل، دمای بارریزی و محیط خنککاری قالب، به همراه نتایج آزمونها شامل کاهش جرم، سختی، اندازه دانه، مقدار و محدوده اندازه فازها برای هر چهار نمونه در جدول (۲) آورده شده است.

۳-۱- ارزیابی ریزساختار

ریزساختار نمونه ۱ الی ۴ به ترتیب در تصاویر الف تا د شکل (۲) نشان داده شده است. با کمک سه تصویر میکروسکپ الکترونی مشابه در هر یک از تصاویر شکلهای (۲)، میانگین مقدار فازها و محدوده اندازه فازها تعیین و در جدول (۲) فهرست شده است. از طریق مقایسه شکلهای (۲–الف) و (۲–ب) با شکلهای (۲–ج) و (۲–د)، به طور کیفی مشاهده میشود که نمونههای ۱ و ۲ (که قالب آنها با آب خنک شده است) فازها به نسبت پراکندهتر و ریزتر از نمونههای ۳ و ۴

(که قالب آنها در هوا سرد شده است) دارند. این یافته در
جدول (۲) نیز صحهگذاری میشود. به طوری که اندازه فازها
در نمونههای ۱ و ۲، کوچکتر از نمونههای ۳ و ۴ است.
بهطور مثال، حداکثر اندازه فاز محلول جامد در نمونههای ۱
و ۲، ۸۰ میکرومتر ولی در نمونههای ۳ و ۴، ۱۲۰ میکرومتر
است. به هر حال، انتظار میرفت که با افزایش سرعت خنک
کاری قالب، اندازه فازها کوچکتر شود.

مطابق جدول (۲) و شکل (۳)، اندازه دانهها در نمونههای ۱ و ۲، ۲۰۰ میکرومتر و در نمونههای ۳ و ۴، ۱۸۰ میکرومتر است که نسبتاً درشت هستند. زیرا ۶۵ کیلوگرم مذاب در قالب استوانهای شکل ماسهای ریخته شده است یعنی سرعت خنک کاری آهسته بوده است [۱]. در نمونههای ۳ و ۴، نگهدارنده قالب با آب خنک میشد، تأثیر چندانی در ریزدانگی نداشت زیرا ضخامت قالب ماسهای سبب شد تا به عنوان عایق عمل کند [۱] و مانع انتقال حرارت از قالب شود.

مطابق نتایج کمی و کیفی طیف تفکیک انرژی در تصاویر الف تا د شکل (۴) که به ترتیب ترکیب شیمیایی زمینه نمونههای ۱ تا ۴ را به نمایش می گذارد، مشاهده می شود که در نمونههایی که قالب آن با آب سرد شده است (یعنی نمونههای ۱ و ۲) مجموع عناصر آلیاژی حل شده در زمینه (عمدتاً قلع) کمتر از ۶ درصد وزنی است. در حالی که در نمونههایی که قالب آن در هوا خنک شده است (یعنی نمونههای ۳ و ۴)، مجموع عناصر آلیاژی حل شده در زمینه (عمدتاً قلع) بیش از ۱۰ درصد وزنی است. به این ترتیب، مطابق انتظار، سرعت خنککاری بیشتر، تشکیل فاز را

محدوده اندازه فاز برحسب ميكرومتر			رصد حجمی ٪۱۰+	اندازه دانه	سختى	کاهش جرم	دمای بارریزی	محيط خنک			
تركيب بينفلزي	سرب	محلول جامد	ترکیب بین فلزی	سرب	محلول جامد	ميكرومتر	برينل	میلیگرم	درجه سانتیگراد	کاری قالب	نمونه
تا ۲۰	تا۱۰۰	تا۶۶	•/۵	٣	١	۱۸۰ <u>+</u> ۱۰٪	۶۳ <u>+</u> ۳٪.	۶/۱	17	ĩ	١
تا ۲۰ (استثنا ۶۰)	تا۱۴۰	تا ۸۰	۰ /٣	٣	٠/٩	۱۸۰ <u>+</u> ۱۰٪	۷۵ <u>+</u> ۳′/.	۶/۵	۹۵۰	اب	٢
تا ۲۰	تا۱۰۰	تا۱۰۰	٠/٢	۴	١/٨	۲۰۰ <u>+</u> ۱۰٪	۶۸ <u>+</u> ۳٪	٣/٩	17	1.5	٣
تا ۲۰	تا ۱۶۰	تا١٢٠	•/۵	۵	١/٨	۲۰۰+۱۰٪	٧٢+٣٪.	٣/۶	۹۵۰	هوا	۴

جدول۲- شرایط تولید، مقدار و محدوده اندازه فازها، سختی و کاهش جرم در اثر سایش برنز SAE660



SEM MAG: 150 x WD: 18.52 mm VEGAN TESCAN SEM HV: 15.00 kV Det: BSE Detector 200 μm Date(m/d/y): 10/08/16 Vac: HiVac RAZI





 SEM MAG: 150 x
 WD: 13.91 mm
 L
 L
 L
 VEGA% TESCAN

 SEM HV: 15.00 kV
 Det BSE Detector
 200 μm
 RAZI
 RAZI
 RAZI

الف: ذوبریزی در ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد و خنک کاری در آب



SEM MAG: 150 x WD: 15.54 mm L______ VEGAN TESCAN SEM HV: 15.00 kV Det: BSE Detector 200 μm Date(m/d/y): 10/08/16 Vac: HiVac RAZI

د: ذوب ریزی در ۹۵۰ درجه سانتی گراد و خنک کاری در هوا



SEM MAG: 150 x WD: 14.75 mm VEGAN TESCAN SEM HV: 15.00 kV Det BSE Detector 200 µm Date(m/dy): 10/08/16 Vac: HIVac RAZI

ج: ذوبریزی در ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و خنک کاری در هوا





شکل ۳- مرز دانهها حاوی مقادیر زیادی از سرب (فاز سفید) و ناخالصیها (فاز سیاه) در: الف) نمونه ۱ و ب) نمونه ۲.



شکل ۴- طیف تفکیک انرژی زمینه در نمونههای مختلف



شکل ۵- تصاویر SEM و طیف تفکیک انرژی فاز محلول جامد مس-قلع (فاز B)



شکل ۶- تصاویر SEM و طیف تفکیک انرژی ترکیب بین فلزی فسفر و مس (فاز E)

۳-۲- ارزیابی فازها

برای پرهیز از خطا در ارزیابی فازها، آنالیز فازی برای فازهای مشابه در هر نمونه، ۳ مرتبه انجام شد. به طور مثال، برای فاز محلول جامد خاکستری رنگ در هر یک از نمونههای ۱ تا ۴، سه مرتبه آنالیز فازی انجام شد اما فقط یکی از آنها نمایش داده شد و مقدار کمی عناصر ذکر شده در متن مقاله محدوده اندازه گیری شده در ۱۲ مرتبه آنالیز فازی در نمونههای ۱ تا ۴ است. بر این اساس، مطابق نتایج کمی و کیفی طیف تفکیک انرژی (EDS) در شکلهای (۵) تا (۹)، در هر چهار شرایط تولید، مطابق شکل (۵)، فاز خاکستری رنگ، محلول جامد ۸۴ تا ۹۲ درصد اتمی مس و مابقی (یعنی ۱۶ تا ۸ درصد اتمی) بیشتر قلع و کمتر روی است. مطابق شکل (۶)، فاز سیاه رنگی که در کنار فاز خاکستری (محلول جامد مس و قلع) وجود دارد، ترکیب بینفلزی مس و فسفر است. به علاوه، فازهای مشکی رنگ که عمدتاً به صورت منفرد یا در کنار سرب، گوشههای تیز دارند، مطابق شکل (۷) و شکل (۸) به ترتیب ناخالصی هایی از قبیل، ترکیب بین فلزی آهن-نیکل-فسفر و سولفید روی هستند. مطابق شکل (۹)، فاز سفید رنگ، سرب خالص است. به علاوه، مطابق شکل (۳)، در برخی از فازهای سرب (فاز سفید)، ناخالصی (فاز سیاه) مشاهده می شود زیرا سرب آخرین فازی است که منجمد می شود و لذا فازهای ناخالصی در آن غوطهور می شوند و در نهایت، در مرزدانهها قرار می گیرند (شکل ۳).

برای صحه گذاری موارد اشاره شده در شکلهای (۵) تا (۹)، نقشه جانمایی عناصر سرب، روی، مس و قلع در نمونههای ۱ تا ۴ در شکل (۱۰)، به نمایش گذاشته شده است. مشاهده میشود که فازهای سفید سرب تقریباً خالص بوده و فازهای سیاه داخل آن، غنی از روی (و سایر عناصر باقیمانده مطابق با جدول (۱) مانند آهن، گوگرد و فسفر) هستند و به علاوه، مقداری از فلز روی نیز در سرب حل شده است. نوع فازها مشاهده شده تطابق خوبی با نوع فازها در سایر پژوهشها دارد [۶–۱۲، ۲۰]. به عبارت دیگر، این نوع فازها در سایر آلیاژهای برنز با ترکیب تقریباً مشابه نیز مشاهده شده است.





۳-۳- ارزیابی سختی و مقاومت به سایش

مطابق شکل (۱۱) یا جدول (۲)، نمونههای ۳ و ۴ (نمونههایی که قالب آن در هوا خنک شده است) نسبت به نمونههای ۱ و ۲ (نمونههایی که قالب آن با آب خنک شده است) به ترتیب برابر با ۳۶ و ۴۵ درصد کاهش جرم کمتری داشتهاند. زیرا، مطابق شکل (۴)، زمینه نمونههای ۳ و ۴ نسبت به زمینه نمونههای ۱ و ۲، غنیتر از عناصر آلیاژی (عمدتاً قلع و روی به ترتیب بیشتر از ۱۰ درصد وزنی و کمتر از ۶ درصد وزنی) است که موجب افزایش استحکام در زمینه برنز و لذا افزایش مقاومت به سایش (یا افت کاهش نمونههای ۳ و ۴، مقدار محلول جامد بیشتر (۸/۱ درصد موجب افزایش مقاومت به سایش (یا افت کاهش موجب افزایش مقاومت به سایش (یا افت کاهش موجب افزایش مقاومت به سایش (یا افت کاهش جرم بر اثر سایش) میشود.

مطابق جدول (۲) یا شکل (۱۱)، نمونه ۲ نسبت به نمونه ۱، مقدار سرب نامحلول بزرگتر (به ترتیب، تا ۱۴۰ و ۱۰۰ میکرومتر) اما با مقدار برابر (۳ درصد حجمی) دارد که به دلیل نقطه ذوب پایین، موجب روانکاری سهلتر در زمینه







شکل ۸- تصاویر SEM و طیف تفکیک انرژی سولفید روی (فاز C)



الف-نقشه جانمايي عناصر نمونه ۱



ب-نقشه جانمایی عناصر نمونه ۲







پ-نقشه جانمایی عناصر نمونه ۳



ت-نقشه جانمایی عناصر نمونه ۴ شکل ۱۰- نقشه جانمایی عناصر در نمونههای ۱ تا ۴ به منظور صحهگذاری شکلهای ۱۱ تا ۱۵

برنز (و یا افزایش مقاومت به سایش) می شود. از طرف دیگر، آن، موجب افزایش کاهش جرم به دلیل حذف سرب از زمينه (يا كاهش مقاومت به سايش) مي شود. تقابل بين اين دو عامل، نهایتاً موجب شده است که کاهش جرم نمونه ۱ کمتر از کاهش جرم نمونه ۲ به ترتیب برابر با ۶/۱ و ۶/۹ میلی گرم باشد. بعلاوه، نمونه ۴ (دمای بارریزی ۹۵۰ درجه سانتی گراد) نسبت به نمونه ۳ (دمای بارریزی ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد)، مقدار سرب نامحلول بیشتر (به ترتیب، ۵ و ۴ درصد حجمی) و بزرگتر (به ترتیب، تا ۱۶۰ میکرومتر و تا ۱۰۰ میکرومتر) دارد که به طور مشابه، به دلیل نقطه ذوب پایین، موجب روانکاری سهلتر در زمینه برنز (و یا افزایش مقاومت به سایش) می شود. از طرف دیگر، آن، موجب افزایش کاهش جرم به دلیل حذف سرب از زمینه (یا کاهش مقاومت به سایش) می شود. تقابل بین این دو عامل، نهایتاً موجب شده است که کاهش جرم نمونه ۴ کمتر از کاهش جرم نمونه ۳ به ترتیب برابر با ۳/۶ و ۳/۹ میلی گرم باشد. اگر چه تحلیل فوق برای ارتباط بین کاهش جرم بر اثر سایش و دمای بارریزی وجود دارد، اما چون اختلاف کاهش جرم خیلی زیاد نیست (کمتر از ۱۰درصد است) لذا برای آلیاژ فوق در محدوده دمای بارریزی ۹۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد، در کاربردهای مهندسی میتوان از اثر دمای بارریزی روی کاهش جرم بر اثر سایش صرفنظر کرد.

در پژوهش ظاهری و وحدت [۷] مقاومت سایشی برنز یاتاقان SAE660 تولیدشده به روش ریخته گری در پیش قالب فولادی با کمک روش پین روی دیسک در مسافت ۲۲ متر تحت تنش ۷/۹ مگاپاسکال بدون روان کار برابر با ۱۰۰ درصد کاهش جرم بوده است که خیلی کمتر از پژوهش حاضر است. زیرا در پژوهش حاضر، نیروی اعمال شده برای سایش حدود ۱/۱۴ مگاپاسکال (در مقابل، ۹/۹ مگاپاسکال) است. نیروی اعمال شده زیاد برای سایش، مقاومت سایشی را کاهش میدهد.

افزایش مقدار فازهای سخت مانند فاز محلول جامد و ترکیب بینفلزی موجب افزایش سختی میشود [۱۵]. از طرفی، افزایش مقدار فاز سرب (نرم) موجب کاهش سختی میشود. به علاوه، زمینه غنی از عناصر آلیاژی که نسبتاً مستحکم است میتواند موجب افزایش سختی شود. تقابل بین این عوامل سبب میشود که مطابق شکل (۱۲) یا جدول (۲)، نمونههای ۲ و ۴ (نمونههایی که در دمای ۹۵۰



شکل ۱۱- ارتباط بین دمای بارریزی و کاهش جرم بر اثر سایش



شکل ۱۳- ار تباط بین سختی و کاهش جرم بر اثر سایش در شرایط مختلف خنککاری

- ۱- در محدوده دمایی فوق برای آلیاژ مورد پژوهش، اثر دمای بارریزی روی مقاومت به سایش، قابل صرفنظر کردن است اما در هر یک از دماهای بارریزی نامبرده، نمونههایی که قالب آنها در هوا خنک شده است، نسبت به نمونههایی که قالب آنها با آب خنک شده است بهطور میانگین مقاومت سایشی آنها ۴۰ درصد افزایش پیدا کرده است زیرا مقدار فاز محلول جامد تقریباً دو برابر و مقدار فاز سرب تقریباً یک و نیم برابر شده و مقدار ترکیب بین فلزی نیز افزایش داشته است.
- ۲- برای دستیابی به سختی بیشتر بایستی بارریزی در
 دمای ۹۵۰ درجه سانتی گراد انجام شود.

۳- برای دستیابی به سختی بالا (۷۲ برینل) و حداقل کاهش جرم بر اثر سایش (۳/۶ میلی گرم) برای برنز یاتاقان مورد پژوهش، بارریزی در دمای ۹۵۰ درجه سانتی گراد و خنک کاری قالب در هوا، توصیه می شود.

مراجع

- [1] ASM Handbook: Casting. Volume 15, Committee AIH, Lampman S, Moosbrugger C, DeGuire E, Metals ASf., ASM International, 2008.
- [2] NEALE, M.J. Bearings High speed bearings and rotor dynamics A2, Butterworth-Heinemann, 1993, 45-49.
- [3] Rowe WB. Chapter 6 Basis of Design Procedures. Hydrostatic, Aerostatic and Hybrid Bearing Design. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2012. 115-124.
- [4] NEALE, M.J. Bearings- Plain bearing materials A2, Butterworth-Heinemann, 1993, 9-14.
- [5] Campbell J. Chapter 5 Solidification Structure. Complete Casting Handbook (Second Edition). Boston, Butterworth-Heinemann, 2015, 163-222.
- [6] Zaheri M, Vahdat SE. Strength of the Bond of Structural Steel S235JR to Bronze SAE660 Produced by Casting in Pre-Mold, Archives of Foundry Engineering, 2017, 149-153.
- [7] ظاهرى م.، وحدت س.ا.، استحكام اتصال فولاد ساختماني عمومي
- به برنز SAE660 تولید شده به روش ریخته گری در پیش قالب،
- اولین کنگره ملی کاربرد مواد و ساخت پیشرفته در صنایع، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران ، ۳تاک خرداد ۱۳۹۶.
- [8] زند ۱، کلوند ح.، وحدت س.۱، مطالعه ریزساختار برای تعیین طول اتصال بین فولاد CK10 و بابیت گرید ASTM B2 روکشکاری شده به روش لحیمکاری نرم، ۱۱۱، ریختهگری. ۱۳۹۵، ۳۲–۳۷.
- [9] زند ۱. کلوند ح. وحدت س.ا. تعیین طول اتصال بین فولاد 25 CK و بابیت گرید ASTM B 2 روکش کاری شده به روش لحیم کاری نرم با استفاده از ریزساختار، پنجمین کنفرانس بینالمللی مهندسی مواد و متالورژی و دهمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسی متالورژی ایران و انجمن ریخته گری ایران، دانشگاه شیراز، ۱۸و ۱۹ آبان ۱۳۹۵.

درجه سانتی گراد بارریزی شدهاند) نسبت به نمونههای ۱ و ۳ (نمونههایی که در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد بارریزی شدهاند) به ترتیب ۱۹ و ۶ درصد سختی بیشتری دارند. بنابراین، برای دستیابی به سختی بیشتر بایستی این آلیاژ در دمای بارریزی کمتر یعنی ۹۵۰ درجه سانتی گراد ریخته گری شود.

پیش بینی می شود که سختی با کاهش جرم (یا عکس مقاومت به سایش) رابطه معکوس داشته باشد [۱۵]. در شکل (۱۳)، مقدار سختی و کاهش جرم بر اثر سایش نمونهها مقایسه شده است. برای نمونههای ۳ و ۴، سختی با کاهش جرم بر اثر سایش، رابطه معکوس دارد اما بر خلاف قاعده فوق، برای نمونههای ۱ و ۲، سختی با کاهش جرم رابطه مستقيم پيدا مي كند. زيرا، سرب نامحلول و نرم، به دلیل نقطه ذوب پایین، موجب روانکاری سهل تر و یا به عبارتی افزایش مقاومت سایشی می شود. از طرف دیگر، سرب نامحلول و نرم، موجب كاهش سختى و افزايش كاهش جرم (به دليل حذف سرب از زمينه) مى شود. همچنین، زمینه غنی از عناصر آلیاژی موجب افزایش استحكام در زمينه برنز و لذا افزايش مقاومت به سايش می شود. به علاوه، افزایش فازهای نسبتاً سخت مانند فاز محلول جامد و ترکیب بینفلزی موجب افزایش سختی و مقاومت به سایش می شود. تقابل بین این عوامل موجب می شود در برخی از نمونه ها (نمونه های ۱ و ۲)، سختی با مقاومت به سایش رابطه مستقیم نداشته باشد.

در پژوهش ظاهری و وحدت [۶] سختی برنز یاتاقان SAE660 تولیدشده به روش ریخته گری در پیش قالب فولادی ۸۰ ویکرز بوده است که کمی بیشتر از پژوهش حاضر است. زیرا در پژوهش حاضر، مقدار سرب خیلی حاضر است. زیرا در پژوهش حاضر، مقدار سرب کیلی بیشتر یعنی ۱۳/۶ درصد وزنی (در مقابل، ۹/۰ درصد وزنی) است. سرب نامحلول، نرم است و لذا سختی را کاهش می دهد.

۴- نتیجهگیری

در این تحقیق، ریزساختار و سختی و کاهش جرم بر اثر سایش برنز SAE660 در چهار شرایط تولید متفاوت، مورد مقایسه قرار گرفته است. قالب دو نمونه در هوا و قالب دو نمونه دیگر با آب خنک شده است در شرایطی که یکی در میان، در دماهای ۱۲۰۰ و ۹۵۰ درجه سانتی گراد، در قالب ماسهای، بارریزی شدهاند. نتایج حاکی از این است که:

- [10] زند ۱، کلوند ح.، وحدت س.ا.، اتصال نفوذی برنز C52100 به صفحه فولادی CK20 به روش جوشکاری MIG جهت ساخت یاتاقان محوری دولایه، دومین همایش و نمایشگاه ملی تجهیزات و مواد آزمایشگاهی صنعت نفت ایران، دانشگاه تهران، ۲۷و۲۸مهر ۱۳۹۵.
- [11] Soflaei H, Vahdat S. Microstructure Study of diffusion bonding of centrifuged structural steelbronze, Archives of Foundry Engineering, 2016,16(2), 99-104.

برنز و فولاد در یاتاقان ژورنال تولید شده به روش ریخته گری

- [13] Neale, M.J., Bearings selection of journal bearings A2, Butterworth-Heinemann, 1993, 4-6.
- [14] Challen B, Baranescu R. Diesel Engine Reference Book: Butterworth-Heinemann, 1999, 682.
- [15] Rowe WB., Chapter 1 Application Hydrostatic, Aerostatic and Hybrid Bearing Design, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2012, 1-23.

- [17] Rowe WB., Chapter 3 Power, Temperature Rise, and Shape Optimization, Hydrostatic, Aerostatic and Hybrid Bearing Design, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2012, 49-64.
- [18] NEALE, M.J. Bearings, Selection of bearing type and form A2 - Butterworth-Heinemann, 1993, 1-3.
- [19] Wardle F., 4 Aerostatic bearings, Ultra-Precision Bearings, Oxford, Woodhead Publishing, 2015, 227-306.

[20] كلوند، ح.، آقاميري، س.ا.، وحدت س.ا.، ارتباط بين سختي و

ریزساختار آلیاژ بابیت در ریخته گری گریز از مرکز افقی، ریخته گری، ۱۳۹۳، ۱۰۶، ۴۸–۵۹.