تاثیر ترکیبات سیمان نسوز و پرلیت بعنوان عایق حرارتی بر سختی فولاد مورد استفاده در غلتک پشتیبان نورد سرد

شهرام قائدی[۱]، حمید رضا بخششی راد[۲]، احمد منشی[۳]، حسین مناجاتی زاده[۴]

چکیده

هدف از این تحقیق استفاده از جرم نسوز در حین عملیات حرارتی برای پوشش نواحی گردن و شافت غلتک پشتیبان بعنوان عایق حرارتی می باشد و انتخاب دمای مناسب جهت عملیات حرارتی آستنیته و تمپر در شرایط قبل و بعد از جرم نسوز می باشد. بدین منظور بررسی ریز ساختار توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی(SEM) و بررسی سختی سنجی انجام گردید. نتایج نشان داد که مناسبترین دما جهت عملیات آستنیته و تمپر به ترتیب ۹۰۰ و ۵۴۰ درجه سانتیگراد می باشد و مناسبترین جرم نسوز در شرایط مختلف عملیات حرارتی پوششی با ترکیب ۸۳ درصد سیمان نسوز سکار، ۱۲درصد پرلیت منبسط و ۵ درصد پالپ می باشد که قادر می باشد در زمان کمتر از ۷ ساعت اختلاف سختی در حدود ۲۰SHC بین نواحی گردن و شافت با بشکه غلتک را ایجاد نماید.

واژه های کلیدی: غلتک پشتیبان، جرم نسوز، سختی، ساختار میکروسکوپی، عملیات حرارتی

مقدمه

با وجود اینکه ورقهای بدست آمده از نورد گرم مصرف صنعتی داشته و مورد استفاده قرار می گیرد، ولی در نورد گرم نمی توان ورق را بسیار نازک نمود؛ زیرا با توجه به گرم بودن ورق، کشش بالا در بین قفسه ها باعث پارگی ورق خواهد شد، بنابراین حداقل ضخامت حاصله از نورد گرم ۱/۲ میلیمتر می باشد؛ در حالیکه در نورد سرد ۰/۲ میلیمتر است. ثانیاً ورقهای نورد گرم خواص مکانیکی و کیفیت مطلوب را دارا نمی باشند. بنابراین در صنایع مختلف از جمله اتومبیل سازی و صنایع خانگی از ورقهای نورد سرد با پرداخت سطحی بالاتر ، تلرانس ابعادی کمتر و ضخامت بسیار کم استفاده می گردد[۱].

در عملیات نورد برای کاهش نیرو و توان، افزایش دقت و یکنواختی ضخامت ورقهای نازک از قفسه های چهار غلتکه استفاده می شود. در این نوع قفسه ها غلتکهای کاری کوچک انتخاب می گردند و غلتکهای پشتیبان که مطابق با جدول۱ سنگین بوده و دارای قطر بالایی هستند، فشار لازم را برای تغییر فرم بر غلتکهای کاری که در تماس با ورق می باشند اعمال می نمایند و همچنین از کجروی و خمش الاستیک غلتکهای کاری جلوگیری می نمایند [۲].

در نورد سرد تاندم پنج قفسه‌ای، عموماً از غلتکهای پشتیبان فولادی آهنگری استفاده می‌گردد که در فاصله صفر تا ۸۰ میلیمتر زیر سطح دارای سختی ۶۰ الی HSC ۶۸، استحکام کششی بالاتر از MPa

---

[1] - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه

[2] - دانش آموخته کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

[3] - دانشیار دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان

[4] - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۹۵۰ وتنش تسلیم MPa ۷۰۰ می باشند. غلتک تا عمق حدود ۸۰ میلیمتر زیر سطح سخت بوده و سپس نرم می شود بعبارتی عمق لایه مفید ۸۰ میلیمتر می باشد و بعد از آن غلتک دارای ساختار اولیه یا همان ساختار حاصل از آهنگری می باشد، بنابراین سختی این ناحیه معادل حالت بازپخت[1] یا آهنگری می باشد زیرا عملیات حرارتی سریع سردی– بازگشت[2] فقط تا عمق مشخصی از غلتک انجام می گیرد. لذا دیده می شود که این غلتک پس از سنگ زنیهای متعدد به دلیل از دست دادن عمق سخت شده لازم کارایی خود را از دست داده است و تبدیل به غلتک مستعمل می گردد. سطح بشکه غلتک باید دارای سختی بالا، مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر قلوه کن شدن (spalling) ناشی از تنش لحظه ای و مقاومت در برابر ایجاد ترک باشد. از طرفی در زیر این ناحیه که بین مغز و سطح غلتک واقع گردیده نیاز به لایه ای با انعطاف پذیری مناسب است تا بتواند مقاومت لازم را در برابر پیشرفت ترک داشته باشد. از طرفی ناحیه محور و شافت غلتک باید مقاومت بالای در برابر تنشهای خمشی و پیچشی ناشی از نورد را داشته باشد،که مستلزم مقدار سختی پایین‌تر در ناحیه محور، شافت و سختی بالاتر در ناحیه بشکه می‌باشد[۳و۱]. مجموعه این عوامل سبب افزایش عمر غلتک می شود.

برای تهیه باندهای هیدرولیکی از سیمان های آلومین بالا استفاده می شود که دمای تحمل آن حدود ۱۷۷۰ الی ۱۸۱۰ درجه سانتیگراد می باشد و با توجه به دمای عملیات حرارتی مناسب می باشد. فازهای اصلی این نوع سیمان $CA, CA_2, C_{12}A_7, Al_2O_3$ می باشد[3]. آلومینات کلسیم (CA) مهمترین فاز سخت کننده بدنه است، هیدراسیون با تشکیل کریستالهای هگزاگونال CAH_{10} و C_2AH_8 آغاز شده[4] و بسته به زمان و دما به تدریج به کریستالهای مکعبی AH_3 و C_3AH_6 تبدیل می شود[۴]. در دمای بالا باندهای هیدرولیک شکسته شده و آلومیناتهای کلسیم بدون آب زینتر می شوند و این خود عامل پیوند در دماهای بالا میگردد. با توجه به مطالب ذکر شده در این تحقیق کوشش گردید، مقدار مناسب سیمان و آب لازم از نظر دارا بودن بهترین خواص بدست آید.

روش تحقیق

ترکیب مواد اولیه و ساخت جرم نسوز

پرلیت نوعی سنگ سیلیکاتی طبیعی است که در اثر حرارت دیدن بین ۴ تا ۲۰ برابر حجم اولیه افزایش حجم یافته و اصطلاحا پرلیت منبسط و توخالی شده بصورت کره های کوچک و بزرگ با جداره نازک و توخالی بوجود می آید که علت آن ناشی از خروج آب تبلور به میزان ۲ تا ۶ درصد حجمی است که در سنگ اولیه موجود بوده است. وجود این حفره های درونی عامل عدم انتقال حرارت شده و تبدل به یک عایق حرارتی می گردد که در مواد نسوز عایق متخلخل تا دمای حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد قابل استفاده می باشد. در این تحقیق از پرلیت منبسط با ترکیب شیمیایی ذکر شده در جدول۲ استفاده شد.

---

[1]. Anneal
[2]. Quenched-Tempered
[3]. C=CaO, A=Al_2O_3
[4]. H=H_2O

پالپ الیاف کاغذ می باشد و از کاغذ ساخته می شود. بارزترین خصوصیت این ماده این است که زمانیکه تحت حرارت قرار می گیرد می سوزد و از خودش تخلخل بجا می گذارد. سیمان نسوز سکار ۷۱ یک باند هیدرولیکی با حدود ۷۰ درصد آلومین است که فرمول شیمیایی آن در جدول۳ ذکر شده است.این سیمان دارای نسوزندگی بالا(۱۷۷۰ الی ۱۸۸۰)و خواص مکانیکی عالی است و خلوص بالای آن سبب استفاده از آن در کاربردهای نسوز بعنوان یک عامل چسباننده گردیده است.

پس از ساخت کامل مواد اولیه (سیمان نسوز سکار ۷۱ + پرلیت منبسط + پالپ) و مخلوط کردن آنها با هم، مقدار آب مورد نیاز به هر ترکیب اضافه شد و عمل مخلوط کردن در حالت تر به مدت ۲۰ دقیقه ادامه یافت تا الیاف پالپ بخوبی ترکیب شود. سپس ترکیب ساخت شده در قالبی که نمونه جدا گردیده از حلقه اصلی در آن قرار داشت ریخته شده، پس از گذشت حدودا ۲ ساعت نمونه ها همراه با پوشش نسوز از قالب خارج شده و به مدت ۲۴ ساعت در خشک کن با دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد نگهداری و کاملا خشک شدند. سپس نمونه های در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد تحت عملیات آستنیته در زمانهای ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۱۹ ساعت قرار گرفتند سپس در هوا سرد شدند.

تهیه نمونه فولادی از غلتک پشتیبان تاندم

نمونه فولادی مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از تکنیک نمونه گیری حجمی از یک غلتک مستعمل پشتیبان تاندم با ابعاد ۴۸۲۲×۱۶۲۵×Ø۱۳۶۵ میلیمتر تهیه شد. بدین منظور بر روی غلتک پشتیبان بوسیله دستگاه سنگ ″۶۲ INNSE مطابق شکل ۱ حلقه ای با ضخامت حدود ۶ و عمق ۹۸/۴ میلیمتر ایجاد شد.

نخست آنا لیز عنصری از این نمونه توسط کوانتومتر مطابق با جدول ۴ انجام گرفت. سپس به منظور انجام عملیات آستنیته و تمپر ابتدا نمونه های با ابعاد ۶×۳۰×۹۸ میلیمتر از حلقه جدا گردید سپس کلیه نمونه‌ها در محدوده دمایی ۸۰۰ الی ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه تحت عملیات آستنیته در کوره مقاومت الکتریکی آزمایشگاهی با دقت۳± درجه سانتیگراد قرار گرفته و بعد در هوا و آب سریع سرد شدند. نمونه های همراه با پوشش نسوز در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در زمانهای ۳ الی ۱۹ ساعت تحت عملیات آستنیته قرار گرفته سپس آزمایش سختی سنجی بروی نمونه های بدون پوشش و حاوی پوشش نسوز بروش (SHC) انجام گرفت. سپس نمونه ها تحت عملیات بازگشت در محدوده دمایی ۴۰۰ الی ۶۸۰ با فواصل دمایی ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۰ دقیقه مطابق شکل ۲ قرار گرفتند.

به منظور بررسی ریز ساختار، نمونه هایی از قطاع ها تهیه گردید و ریزساختار آنها توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. مراحل آماده سازی نمونه ها جهت متالوگرافی شامل سنباده زنی با استفاده از سنباده های ۱۸۰ تا ۱۲۰۰ و پولیش مکانیکی با پودرکوراندوم با مش ۱۵۰۰ و سپس حکاکی در محلول نایتال ۲ درصد انجام گرفت.

تاثیر جرم نسوز بعنوان عایق حرارتی بر سختی فولاد مورد استفاده در غلتک

با توجه به اشکال۸ و۹ پوشش نسوز باعث شده شکل هندسی غلتک از حالت پیچیده و پله دار تبدیل به شکلی ساده و کاملاً متقارن گردد و موجب جلوگیری از پیچیدگی بدلیل گرادیان حرارتی زیاد در هنگام عملیات سریع سردی موضعی می‌گردد.

بدلیل وجود تغییر قطر در طول غلتک پشتیبان نورد تاندم و وجود گودی، زوایا و گوشه‌های تیز در غلتک امکان ایجاد تنشهای داخلی ناشی از سرعتهای مختلف سرد شدن در قسمتهای مختلف غلتک وجود داشته که موجب ایجاد ترک در این نقاط می گردد با استفاده از پوشش نسوز می‌توان انواع گودی ها، زوایای تیز و تند، راکوردهای شدید بین مقاطع بزرگ و مقاطع کوچک را حذف کرده و احتمال تمرکز تنش را از بین برد.

همانطوریکه در جدول۵ مشاهده می شود نسبت سیمان به آب در ترکیب های ۸۵ درصد سیمان نسبت به ترکیب های ۸۳ درصد سیمان بیشتر بوده است. با افزایش سیمان سختی نمونه های پوشش داده شده کاهش می یابد. چرا که پس از اعمال فشار، آب فیزیکی موجود در نمونه ها خارج شده و تولید ترکهای ریز می نماید ، از سوی دیگر افزایش سیمان موجب افزایش آب بیشتر در نمونه ها می گردد لذا آب بیشتر سبب ترکهای بیشتری در سطح پوشش گردیده در نتیجه حرارت بیشتری به فلز انتقال یافته و موجب افزایش سختی پس از عملیات سریع سردی می گردد.

با افزایش پالپ همانطور که در جدول۵ ذکر گردیده سختی نمونه کاهش یافته است چرا که افزایش پالپ موجب تخلخل بیشتر در نمونه ها پس از خشک شدن می شود در نتیجه دانسیته کلی کاهش یافته و تخلل ظاهری بیشتر می شود این تخلل موجب کاهش انتقال حرارت شده و باعث می گردد سختی پس از عملیات سریع سردی کاهش یابد که هدف اصلی این تحقیق می باشد. چراکه قسمت گردن و شافت باید در سختی پائین تری نسبت به بشکه قرار گیرد. بنابراین با توجه به جدول۵ می توان گفت که جرم نسوز با ترکیب ۵ درصد پالپ، ۸۳ سیمان نسوز سکار و ۱۲ درصد پرلیت منبسط مناسبتر از جرم نسوز با ترکیب ۳درصد پالپ، ۸۵ سیمان نسوز سکار و ۱۲ درصد پرلیت منبسط عمل کرده و این پوشش قادر است بعنوان عایق حرارتی مناسبی در قسمت گردن و شافت غلتک در کوره های صنعتی تحت شرایط رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۳ ساعت جهت عملیات آستنیته سپس نگهداری در این دما به مدت ۴ ساعت و بعد سریع سردی در هوا بخوبی عمل نماید[۷].

جرم نسوز باعث گردیده در طول عملیات گرمائی (آستنیته) یک اختلاف ۱۰۰ درجه سانتیگرادی بین نواحی بشکه و دستک ایجاد شود زیرا با توجه به شکل۶ تغییرات دمای آستنیته بر حسب سختی اگر ناحیه دستک و گردن در دمای ۸۰۰ درجه قرار بگیرد هیچگونه استحاله ای رخ نخواهد داد و این نواحی در همان حالت اولیه خود در سختی بین ۴۶ الی۵۰HSC باقی می مانند.

همچنین جرم نسوز باعث گردیده در هنگام عملیات سریع سردی نواحی گردن و شافت غلتک با سرعت به مراتب کمتری نسبت به ناحیه بشکه غلتک که در تماس مستقیم با عامل سریع سردی میباشد به دمای محیط انتقال یابد. در حقیقت در این حالت دو سرعت سردکردن نهائی را برای سطح غلتک باید در نظر گرفت.

۱- سرعت سردکردن مربوط به سطح خارجی غلتک که در تماس مستقیم با مایع است و سرعت سرد شدن آن حداکثر است، که باعث می گردد سطح بشکه غلتک مارتنزیت شود.

۲- سرعت سردشدن در نواحی گردن و شافت غلتک که با جرم نسوز پوشش داده شده تابع هدایت حرارتی فولاد است، که در همان حالت اولیه باقی می ماند.

این اختلاف در سرعت سرد شدن بین بشکه با گردن و شافت باعث می گردد تا ساختار گردن و شافت بدون تغییر در همان حالت فریتی- پرلیتی باقی بماند.

نتیجه گیری:

۱- مشخص گردید مناسب‌ترین دمای آستنیته برای فولاد مورد استفاده در غلتک پشتیبان حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد ومناسب‌ترین دما جهت عملیات تمپر در حدود ۵۴۰ سانتیگراد می‌باشد که در این حالت ساختار شامل مارتنزیت تمپر شده، کاربید کرم می‌باشد.

۲- مشخص گردید که مناسبترین جرم نسوز برای پوشش قسمتهای گردن و شافت غلتک پشتیبان، پوشش با ترکیب ۸۳ درصد سیمان نسوز سکار، ۱۲درصد پرلیت منبسط و ۵ درصد پالپ می باشد که قادر می باشد در زمان کمتر از ۷ ساعت اختلاف درجه حرارتی معادل ۱۰۰ درجه سانتیگراد جهت جلوگیری از استحاله مارتنزیتی و مقاومت در برابر تنشهای خمشی و پیچشی ناشی از نورد که اختلاف سختی در حدود ۲۰SHC بین نواحی گردن و شافت با بشکه غلتک را ایجاد می نماید.

مراجع

[1] Roberts, W.L., Cold Rolling of Steel, Marcel Dekher Inc., New York and Basel, 1978.
[2] X. Kang, D. L. Xia, J. Campbell and Y. Li, Development of cast steel back-up roll, J. Cast Metals Research. 19 (2006) 66-71.
[3] Mikael Jonsson, TM-Rolling of Heavy Plate and Roll Wear, Sweden, 2006.
[4] J.S.Masaryk, R.A.Steinke and R.B.Videtto, Development and use of low cement , self-flowing castables, National Refractories and Minerals Corporation, 16(2001)527-538
[5] C.R.F. Azevedo and J.Belotti Neto, Failure analysis of forged and induction hardened steel cold work rolls, Engineering Failure Analysis, 11 (2004) 951-966.
[6] Chen Zhu, Tempering of engineering steels,Oxford Materials,2005.
[7] W.E. Lee, W. Vieira, S. Ghanbari and K. Sarpoolaky, Castable refractory Concretes, Inter. Materials Reviews, 46 (2001) 145-167.

جدول۱- مشخصات غلتک پشتیبان تاندم پنج قفسه ای

وزن غلتک قراضه Kg	وزن غلتک نو Kg	سختی گلوئی SHC	سختی سطح کاری SHC	طول کلی غلتک mm	طول سطح کاری mm	قطر گلوئی سمت چپ mm	قطر گلوئی سمت راست mm	لایه مفید mm	حداقل قطر mm	حداکثر قطر mm	جنس	واحد
۳۱۶۸۰	۳۶۳۱۰	۴۴	۵۸-۶۲	۴۸۲۲	۱۶۲۵	۷۳۸	۵۰۹/۸	۱۶۰	۱۳۶۵	۱۵۲۵	فولاد آلیاژی آهنگری	تاندم

جدول۲- درصد مواد تشکیل دهنده پرلیت منبسط

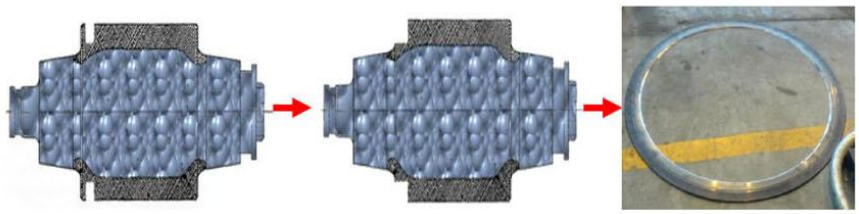
ترکیب شیمیایی	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	Na_2O	K_2O
درصد وزنی	۷۳/۴	۱۵/۵	۰/۲۵	۱/۱۲	۰/۵۷	۰/۱۷	۳/۹۳	۴/۲۲

جدول۳- درصد مواد تشکیل دهنده سیمان سکار ۷۱

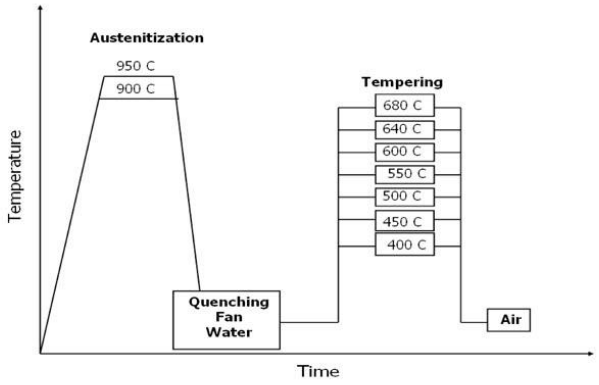
ترکیب شیمیایی	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	SO_3	K_2O+Na_2O
درصد وزنی	۰/۲-۰/۶	۶۸/۷-۷۰/۵	۰/۵	۰/۱-۰/۲	۲۸/۵-۳۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۵

جدول۴- ترکیب شیمیایی غلتک پشتیبان تاندم پنج قفسه ای

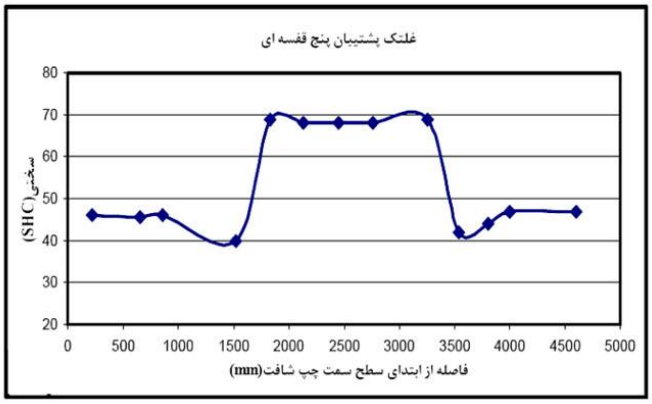
ترکیب شیمیایی	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Sn	%As	%Cu	%Al
درصد وزنی	۰/۴۱	۰/۳۱۴	۰/۷۶۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۳/۱	۰/۶۷	۰/۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۴۵	۰/۰۰۳



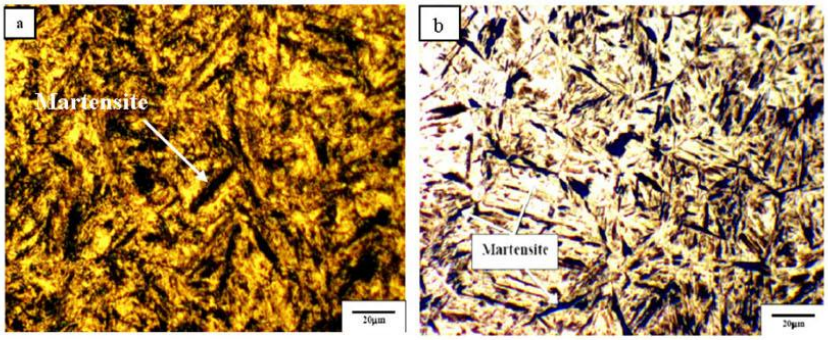
شکل۱- حلقه ایجاد شده از غلتک پشتیبان تاندم پنج قفسه ای با قطر ۱۳۶۵ میلیمتر و عمق ۹۸ میلیمتر



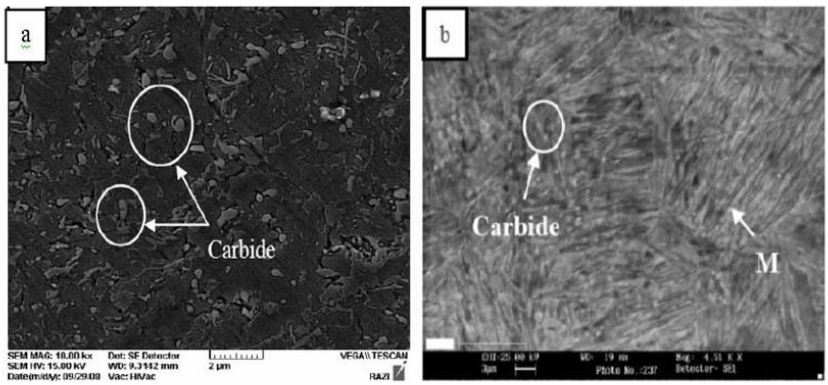
شکل۲- سیکل عملیات حرارتی آستنیته- بازگشت



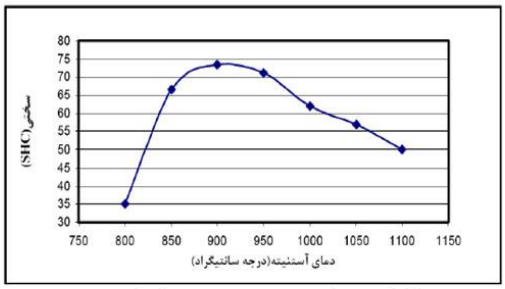
شکل۳- تغییرات سختی بر حسب فاصله از ابتدای سطح سمت چپ شافت غلتک پشتیبان نورد تاندم



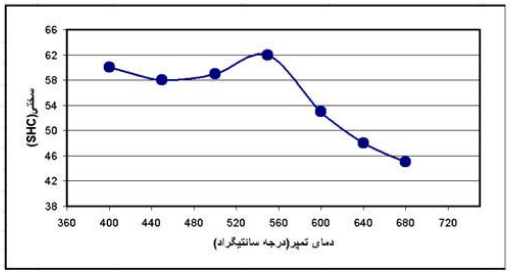
شکل۴- ریز ساختار نمونه توسط میکروسکوپ نوری a) قبل از عملیات حرارتی b) بعد از عملیات حرارتی در شرایط آستنیته در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد سریع سرد شده در آب



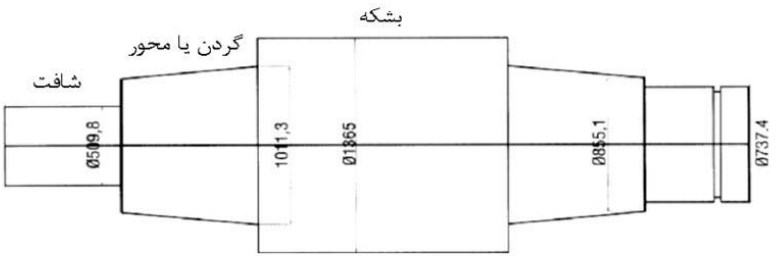
شکل۵- ریز ساختار نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی a) قبل از عملیات حرارتی b) بعد از عملیات حرارتی در شرایط آستنیته در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد سریع سرد شده در آب



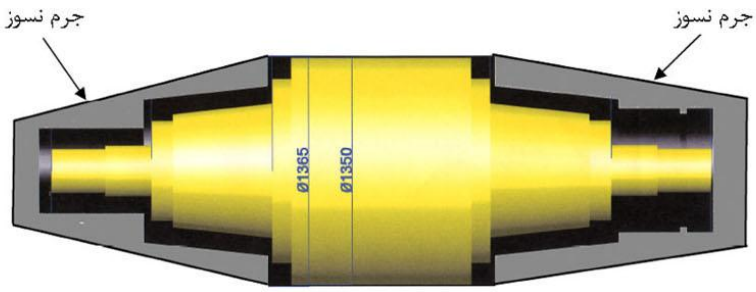
شکل۶- تغییرات سختی بر حسب دمای آستنیته



شکل۷- تغییرات سختی بر حسب دمای تمپر



شکل۸- نمائی از غلتک پشتیبان نورد تاندم بدون جرم نسوز



شکل۹- نمائی از غلتک پشتیبان نورد تاندم که قسمتهای گردن و شافت توسط جرم نسوز پوشش داده شده است

جدول۵- تاثیر شرایط عملیات حرارتی بر سختی نمونه های پوشش داده شده

سختی نمونه شاهد (SHC)	سختی نمونه پوشش دار (SHC)	شرایط عملیات حرارتی آستنیته	نوع ترکیب
۶۱	۴۶	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۳ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۶۰	۴۴	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۳ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۸	۴۷	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۴ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۸	۴۴	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۴ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۶	۴۸	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۵ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۵	۴۶	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۵ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۵	۴۹	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۶ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۵	۴۶	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۶ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۳	۶۰	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۸ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۳	۵۹	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۸ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۹	۴۴	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۶ ساعت، نگهداری در این دما به مدت ۲۰ دقیقه، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۹	۴۰	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۶ ساعت، نگهداری در این دما به مدت ۲۰ دقیقه، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۳۰	۳۶	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۱۹ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۲۹	۳۶	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۴۰ دقیقه، نگهداری در این دما به مدت ۱۹ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۸	۵۰	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۳ ساعت، نگهداری در این دما به مدت ۴ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۳ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۵ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد
۵۸	۴۷	رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۳ ساعت، نگهداری در این دما به مدت ۴ ساعت، سپس سریع سردی در هوا	پالپ ۵ درصد + سیمان نسوز سکار ۸۳ درصد + پرلیت منبسط ۱۲ درصد