



انجمن آهن و فولاد ایران

پیام فولاد

۱۳۹۵

فصلنامه علمی - خبری انجمن آهن و فولاد ایران
تابستان - شماره ۶۳

پیام فولاد مطالب علمی - خبری در زمینه آهن و فولاد یا زمینه‌های مرتبط را منتشر می‌کند. چاپ مطالب به منزله تأیید دیدگاه پدیدآورندگان آن نیست، نقل و اقتباس از مطالب پیام فولاد با ذکر مأخذ آن بلامانع است. دستورالعمل تهیه مقالات جهت درج در پیام فولاد در صفحات آخر ارائه شده است. طراحی کلیه جداول و تصاویر بر عهده صاحب مقاله می‌باشد. مقاله‌های پذیرفته شده پس از ویرایش منتشر می‌شود. **ISSIRAN**



صاحب امتیاز: انجمن آهن و فولاد ایران

مدیرمسئول و سردبیر: دکتر حسین ادريس

هیأت تحریریه:

دکتر عباس نجفی‌زاده (استاد دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر حسین ادريس (استاد دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر علی شفیعی (استاد دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر مرتضی شمعیان (استاد دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر کیوان رئیسی (دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر احمد ساعتچی (استاد دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر بهروز ارباب‌شیرانی (استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان)

مهندس محمدحسن جولازاده (شرکت آژینه گستر اسپادانا)

مدیر اجرایی: مهندس مرتضی صالحی

مدیر روابط عمومی: فریدون واعظزاده

طراحی جلد و صفحه‌آرایی: شهرزاد ابراهیم‌زاده

ناشر: انجمن آهن و فولاد ایران

خدمات نشر: ارکان دانش

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بهاء: ۷۰۰۰۰ ریال

نشانی: اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان، پارک علم و فناوری شیخ بهایی، انجمن آهن و فولاد ایران، کدپستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱
تلفن: ۰۲۴-۳۳۹۳۲۱۲۱-۳۳۹۳۲۱۲۴، تلفکس: ۰۳۱-۳۳۹۳۲۱۲۴

E-mail: info@issiran.com

www.issiran.com

● اندازه‌گیری دمای اتمسفر در کوره فولادسازی ترجمه: مهندس حسین زرین‌پور (شرکت آهن و فولاد غدیر ایرانیان)	۴
● اثر انواع فولاد HSLA کم و متوسط کربن بر پارامترهای نورد گرم در دماهای رسوب کردن ترجمه: محمدحسین نشاطی (شرکت فولاد آلیاژی ایران)	۱۷
● اخبار انجمن آهن و فولاد ایران	۲۶
● اخبار اعضای حقوقی انجمن آهن و فولاد ایران	۲۷
● اخبار بین‌المللی	۲۹
● عناوین مقالات مندرج در مجلات بین‌المللی آهن و فولاد (در این شماره) - مجله: Journal of Iron and Steel Research, International Volume 23, Issue 7, Pages 633-738, (July 2016)	۳۱
● عناوین مقالات مندرج در مجله بین‌المللی آهن و فولاد ایران (در این شماره) - مجله: International Journal of Iron & Steel Society of Iran Volume 13, Number 1 (June 2016)	۳۲
● معرفی کتاب	۳۳
● سمینارهای بین‌المللی، سمینارهای داخلی	۳۴
● روشی جدید برای مشخص کردن جزئیات ساختمان کریستالی فلزات	۳۵
● ارزیابی تولید محصولات آهن اسفنجی جهان و ایران در سال ۲۰۱۵ تهیه و تنظیم: مهندس محمدحسن جولازاده (مشاور عالی شرکت فولاد ناب تبریز)	۳۷
● برگزاری دوره‌های آموزشی انجمن آهن و فولاد ایران	۴۳
● انتشارات آهن و فولاد	۴۹
● فرم درخواست عضویت حقیقی و حقوقی در انجمن آهن و فولاد ایران	۵۱
● فراخوان مقاله برای مجله بین‌المللی انجمن آهن و فولاد ایران	۵۲
● دستورالعمل تهیه مقالات به زبان انگلیسی جهت مجله بین‌المللی علمی - پژوهشی انجمن آهن و فولاد ایران	۵۳
● راهنمای اشتراک فصلنامه پیام فولاد	۵۵
● تعرفه آگهی در فصلنامه پیام فولاد	۵۶
● دستورالعمل تهیه مقاله برای فصلنامه پیام فولاد	۵۷

سخن سردبیر

سر مقاله

در شماره حاضر از نشریه پیام فولاد که شصت و سومین شماره از این نشریه می باشد، مقاله‌ای در ارتباط با یک روش برای اندازه‌گیری دمای کوره فولادسازی با فرایند تصفیه اکسیژن به خصوص در کوره‌های تاندم ارائه شده است. در ادامه به مطالعه اثر فولاد پر استحکام کم آلیاژ (HSLA) با کربن کم و متوسط بر پارامترهای نورد، همانند نیروی جداکننده و گشتاور موتور اصلی پرداخته شده که از نتایج آن می‌توان برای تنظیم دقیق دمای نورد کنترل شده استفاده کرد. در این شماره مطلبی نیز در ارتباط با ارزیابی تولید محصولات آهن اسفنجی جهان و ایران در سال ۲۰۱۵ بحث گردیده است. در دیگر بخش‌های این نشریه مطالب مختلف در رابطه با صنایع فولاد گردآوری شده است که امیدوارم حداقل بخشی از مطالب این شماره مورد استفاده شما همکار گرامی در دانشگاه و صنعت قرار گیرد.

دکتر حسین ادريس
مدیرمسئول و سردبیر فصلنامه پیام فولاد

اندازه‌گیری دمای اتمسفر در کوره فولادسازی^۱

ترجمه: مهندس حسین زرین‌پور

شرکت آهن و فولاد غدیر ایرانیان

چکیده

در این مقاله یک روش برای اندازه‌گیری دمای کوره فولادسازی با فرایند تصفیه اکسیژن به خصوص در کوره‌های تاندم ارائه شده است. اطلاع از دما برای بهینه‌سازی فرایند ساخت و افزایش طول عمر پوشش داخلی کوره حائز اهمیت است. شرایط کوره نیز بسیار سخت است، دما می‌تواند به صورت موقت تا 2000°C بالا رفته و نرخ حرارتی 1°C/s را تجربه کند. اتمسفر کوره عمدتاً اکسیدی و ترکیب شیمیایی آن بسیار متغیر است. همچنین در این اتمسفر ترکیبات مایع و جامد حضور دارند که از نظر شیمیایی و سایندگی بر آستر نسوز و سنسورها تأثیر گذارند. این شرایط امکان استفاده از پیرومترهای مکنده و روش‌های اندازه‌گیری غیر تماسی نوری و صوتی را غیرممکن می‌کند. بنابراین از یک ترموکوپل با غلاف محافظ استفاده شد. سنسور داخل یک بوش فولادی مجهز به سیستم خنک کاری در کوره نصب شد. اولین اندازه‌گیری با استفاده از ترموکوپل نوع B در لوله محافظ Al_2O_3 که خود در یک تیوب محافظ بیرونی از جنس SiC قرار گرفته بود، انجام شد. دومین سنسوری که استفاده شد یک ترموکوپل نوع C در یک لوله مخصوص کم ضخامت از جنس SiC زینتر شده بود. این سنسور فقط دمای گاز را اندازه نمی‌گیرد چرا که توسط تشعشعات محیط اطراف تحت تأثیر قرار گرفته است. شرایط انتقال حرارت از کوره به سنسور بسیار متغیر و اندازه‌گیری آن سخت است بنابراین تعیین میزان دقیق دمای اتمسفر ممکن نیست. حدود مرزی بازه دمای اتمسفر برای دو حالت فرضی عایق تشعشع و محیط کاملاً هادی تشعشع تعیین شد.

دلیل تقاضا برای آسترکاری^۲ داخلی این وسایل بسیار بالاست. آستر رفته رفته نازک شده و از بین می‌رود از این رو هزینه تعویض مجدد و جایگزینی آن قابل ملاحظه است. علاوه بر دمای بالا، اتمسفر خورنده کوره نیز تأثیر مخربی بر آستر دارد که این تأثیر در دماهای بالا شدت می‌گیرد. از دیگر عوامل مخرب روی سیکل عمر آستر سرامیکی، تغییرات متناوب و دائم دما به دلیل ماهیت بچ بودن تکنولوژی فولادسازی است (برخلاف مواردی همچون کوره بلند). به دلایلی که ذکر شد اندازه‌گیری دمای محیط کاری کوره به منظور بهینه‌سازی فرایند تولید امری ضروری و بسیار مهم محسوب می‌گردد. اما به صورت کلی اینکه اندازه‌گیری دما از اتمسفر کوره باشد یا دمای آستر بسیار چالش برانگیز است.

دمای اتمسفر کوره به خصوص برای واحد تولید بر پایه فرایندهای اکسیژنی (کوره تاندم یا کنورتور اکسیژن) می‌تواند به عنوان یک شاخص مهم از درحال کار بودن منظم فرآیند باشد. همچنین این دما می‌تواند به عنوان اطلاعات توصیفی برای "بار حرارتی"^۳ آستر به کار گرفته شود. در عمل مشکل اندازه‌گیری دما درحالی است که باید از سنسور در برابر دمای بالا و خوردگی اتمسفر کوره هم محافظت کرد. به صورت کلی اندازه‌گیری دمای گازها فرآیندی مشکل است اما در مورد کوره فولادسازی به دلیل آلودگی شدید اتمسفر کوره، این فرآیند بسیار پیچیده‌تر خواهد شد. به منظور تحقیق و انجام آزمایش‌های مربوط به سنسور، کوره تاندم انتخاب شد. برای انجام این آزمایشات، اندازه‌گیری دما در پایین تاج کوره انجام گرفت.^۴

۱. این متن ترجمه کاملی از مقاله زیر است:

"Measuring temperature of the atmosphere in the steelmaking Furnace", R. Pyszko, T. Brestovic, N. Jasminská, M. Lázár, M. Machu, M. Puškár, R. Turisová, Measurement, 75, 2015, 92–103.

² Tandem furnace

³ Lining

⁴ Thermal load

⁵ Crown

۱- مقدمه

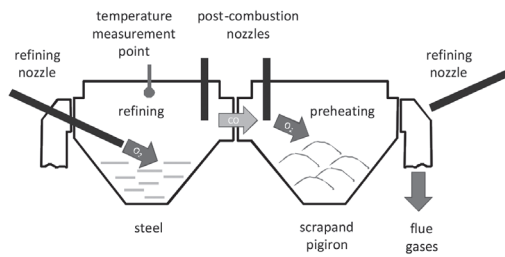
فولادسازی در دمای بسیار بالایی انجام می‌گیرد و زمانی که دمای مذاب تقریباً 1600°C است دمای محیط کاری مجموعه فولاد سازی نظیر کنورتور اکسیژن، کوره تاندم^۲ یا کوره قوس الکتریکی بیش از این دما نیز خواهد بود. به همین

۲- توصیف شرایط اندازه‌گیری در کوره تاندم

کوره تاندم از دو محفظه تشکیل شده است: محفظه پیش‌گرم و تصفیه (شکل ۱). هر کدام از مخازن به یک نازل جمع‌شونده مورب برای تصفیه اکسیژن و یک نازل دیگر در بالا برای احتراق ثانویه کربن مونوکسید (CO) مجهز شده‌اند. کوره توسط یک تاج از بالا بسته شده است که به صورت منقطع بوده و اجازه تعویض سریع را به اپراتور می‌دهد. آستر شامل آجرهای نسوز کروم-منیزیتی معلق است. دو مخزن توسط یک کانال که اجازه جریان یافتن گاز خروجی از منطقه پیش‌گرم به منطقه تصفیه را می‌دهد، به هم متصل شده‌اند. در منطقه تصفیه گاز خروجی حاوی مقدار زیادی CO تولیدشده و سپس در منطقه پیش‌گرم سوزانده می‌شود. گاز محصول منطقه پیش‌گرم توسط دودکش از محیط خارج می‌شود. عملکرد دو مخزن در امتداد یکدیگر است. فرایند تصفیه حدود ۷۰ دقیقه طول می‌کشد و عملاً زمان کل برای این چرخه که شامل مرحله پیش‌گرم و تصفیه است چیزی حدود ۱۶۰ دقیقه خواهد بود. بر طبق محاسبات تخمینی و مقدماتی، دمای احتراق در محیط کوره تاندم ممکن است به بالاتر از 2000°C نیز برسد. اندازه‌گیری‌های اولیه با استفاده از یک ترموکوپل پلاتینیومی تایید کرد که دما در کانال اتصال دو مخزن و در مسیر خروجی به صورت موقت تا بالاتر از 1800°C نیز افزایش می‌یابد. در این حالت دما به مقادیر بالاتر از حداکثر دمای مجاز و محدوده کاری وسایل اندازه‌گیری رسیده و در نتیجه ترموکوپل شروع به تخریب و از بین رفتن کرد. علاوه بر این مشخص شده است که دمای گاز خروجی پرنوسان و دامنه این نوسانات در کانال اتصال تقریباً به $140^{\circ}\text{C s}^{-1}$ و در مسیر خروجی به $160^{\circ}\text{C s}^{-1}$ می‌رسد. این نوسانات دمایی تأثیر نامطلوبی روی آستر و سنسور دارند.

ترکیب شیمیایی اتمسفر کوره نیز بسیار متغیر است. غلظت CO در گاز خروجی مخزن پیش‌گرم بین ۰ تا ۲۰ درصد حجمی (میانگین ۹ درصد حجمی) و غلظت اکسیژن O_2 در بازه ۰ تا ۲۰ درصد حجمی (متوسط ۱۶ درصد حجمی) در اندازه‌گیری اولیه به دست آمد. آنالیز همبستگی نشان داد که CO_2 و O_2 به صورت معکوس بایکدیگر ارتباط دارند (ضریب همبستگی پیرسون $-0/45$ بود)، به طور مشابه این رابطه برای CO و O_2 نیز به صورت ضعیف‌تر برقرار بود (ضریب همبستگی $-0/12$).

درحالی که بین CO_2 و CO ارتباط مستقیم وجود داشت (ضریب همبستگی $0/7$).



شکل ۱. نمایی از کوره تاندم.

از اطلاعات بالا می‌توان نتیجه گرفت که اتمسفر کوره تاندم عمدتاً اکسیدی بوده که می‌تواند در مواقعی به صورت موقت احیایی شود.

گذشته از گازهای آنالیز شده، گازهای دیگر و ترکیبات جامد و مایع به خصوص FeO ، CaO ، MgO ، Al_2O_3 ، SiO_2 ، Cr_2O_3 و سایر ترکیبات بر آستر و در نتیجه سنسور دما دارند نیز در اتمسفر کوره حضور دارند. این ترکیبات همچنین در کوره تولید دود کرده و تأثیر شدیدی بر انتقال حرارت تشعشعی می‌گذارند. از تأثیر دینامیکی سیال گاز روی سنسور نباید چشم‌پوشی شود و همچنین در طراحی سنسور باید تأثیر مکانیکی لرزش و شوک‌های کوره و نیز جابجا شدن و حرکت آستر، زمانی که کوره برای تخلیه کج می‌شود را نیز باید لحاظ کرد.

۳- اندازه‌گیری دما در کوره با استفاده از روش‌های غیر تماسی

روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری دمای گاز و شعله در بویلرها و کوره‌های با شعله نسبتاً پایدار و ترکیب شیمیایی ثابت گاز خروجی وجود دارد که به دو دسته روش‌های تماسی و روش‌های غیر تماسی تقسیم می‌شوند. اما اندازه‌گیری دماهای بالاتر از 2000°C در محیط آلوده و ترکیب متغیر کوره فولادسازی از نظر تکنیکی بسیار مشکل بوده و برخلاف اندازه‌گیری دمای شارژ، روش مشخص و مناسبی برای اندازه‌گیری طولانی مدت و آنالیز دمای فرآیند وجود ندارد. اگر دمای اتمسفر کوره را به وسیله یک پیرومتر نوری در اتمسفر هادی تشعشع اندازه‌گیری کنیم این دستگاه دمای

زمینه، آستر یا سطح شارژ در معرض پیرومتر را اندازه گیری خواهد کرد.

در محیط‌های عایق اشعه حرارتی یا محیط‌های نیمه هادی به دلیل وجود دود فراوان، تشعشعات ناشناخته از گاز یا ذرات دود روی اندازه‌گیری دما تأثیر دارد. در کوره، مخلوط‌های گازی از مولکول‌های چندقطبی (CO ، CO_2 ، H_2O و غیره) تشکیل می‌شود که ۱۰۰ درصد عایق تشعشع نیستند. تشعشع گازها انتخابی است، گازها در یک محدوده طول موج بسیار باریک تشعشع می‌کنند. مجموع نشر گازها بسیار کم و به صورت غیر خطی با دمای گاز رابطه دارد. اندازه‌گیری‌ها باید به صورت طیفی در محدوده باریک طول موج‌ها انجام شود. در کوره تاندم گازهای قرمز رنگی وجود دارد که نمی‌توان آنها را به عنوان جسم خاکستری در نظر گرفت و تشعشع با توجه به تعریف طیف مشکل خواهد بود. در نتیجه اندازه‌گیری به آلودگی و ترکیب شیمیایی اتمسفر که مدام تغییر می‌کند بستگی دارد.

به صورت تجاری پیرومترهای طیفی^۱ مخصوصی وجود دارند که برای اندازه‌گیری فرایند احتراق طراحی شده‌اند. این تجهیزات از ویژگی انتخابی بودن طیف نشری گازها استفاده می‌کنند.

تجهیزات کاربردی با طول موج تقریباً $3/9 \mu\text{m}$ برای اندازه‌گیری از میان شعله مناسب هستند، برای مثال مانیتورینگ دمای آستر در محفظه احتراق. در این حالت به یک شعله درخشان و متشعشع نیاز داریم که در کوره فولادسازی وجود ندارد. این تجهیزات با طول موج کاری $4/26 \mu\text{m}$ دمای CO_2 را به عنوان جزئی از گاز خروجی اندازه‌گیری می‌کنند. تجهیزات با طول موج کاری $4/6 \mu\text{m}$ دمای CO را اندازه‌گیری می‌کنند. ترکیب شیمیایی گاز خروجی در کوره فولادسازی به سرعت و به شکل قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری دما با پیرومترهای طیفی و یا با هر روش غیر تماسی دیگر مانند اندازه‌گیری آکوستیک، بسیار مشکل است.

از این رو توصیه شده است که در اینچنین محیط‌هایی یک لوله سرامیکی به همراه یک پیرومتر نوری داخل محیط قرار داده شده و دمای انتهای لوله خوانده شود. در این حالت مشکل به منطقه اندازه‌گیری تماسی روی فصل مشترک اتمسفر لوله منتقل می‌شود (پیرومتر نوری فقط برای تعیین دمای لوله خواهد

بود). این موضوع یک مشکل ایجاد می‌کند که چگونه ماده‌ای برای محافظت در برابر محیط تهاجمی^۲ و خورنده کوره پیدا کنیم (در این مورد داخل کوره تاندم) و بنابراین مزیت استفاده از روش اندازه‌گیری غیر تماسی نسبت به اندازه‌گیری با استفاده از ترموکوپل از دست می‌رود. با این شرایط تصمیم بر آن شد تا از ترموکوپل برای اندازه‌گیری استفاده کنیم. از مزایای ترموکوپل می‌توان به قیمت نسبتاً پایین آنها، دقت بالا، عدم نیاز به نگهداری و عدم تأثیرپذیری از ترکیب شیمیایی گاز در اندازه‌گیری اشاره کرد.

۴- اندازه‌گیری دما در کوره فولادسازی با استفاده از سنسورهای ترموکوپلی

معمول‌ترین نوع ترموکوپل که در کارخانه‌ها و آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شود ترموکوپل میله‌ای^۳ است. سنسور به وسیله یک لوله محصور محافظت میشود که این لوله برای دماهای پایین، فلزی و برای دماهای بالا، سرامیکی است. ترموکوپل‌های میله‌ای برای دماهای بالاتر از 1600°C معمولاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و تنها توسط تولیدکننده‌های محدودی تأمین می‌شوند. هیچ کدام از ترموکوپل‌های میله‌ای موجود در بازار برای اندازه‌گیری دما در کوره تاندم مناسب نیست.

علاوه بر این هنگامی که برای اندازه‌گیری دمای گاز از ترموکوپل میله‌ای درون شعله استفاده می‌کنیم میزان خطا به دلیل تبادل تشعشع بین ترموکوپل و محیط اطراف افزایش پیدا می‌کند. از این رو به منظور اندازه‌گیری دمای گاز خروجی در تاسیسات احتراق از پیرومتر مکنده^۴ با یک پوسته محافظ بین سنسور و محیط اطراف استفاده می‌شود. گازها به وسیله یک اجکتور مکش شده و اطراف ترموکوپل محافظت شده با ویسکوزیته بین $10^2 - 10^3 \text{ ms}^{-1}$ جریان می‌یابد.

درمورد کوره تاندم از ترموکوپل‌های مکشی به دلیل آلودگی شدید اتمسفر کوره نمی‌توان استفاده کرد. این آلودگی باعث رسوب و ته نشینی سرباره و در نتیجه گرفتگی کانال عبور گاز می‌شود.

¹ Spectral pyrometers

² Aggressive

³ Bar thermocouple

⁴ Suction pyrometer

به دلایلی که در بالا ذکر شد یک ترموکوپل میله‌ای سفارشی استفاده شد. ترموکوپل در یک لوله محافظ مخصوص قرار گرفت و تأثیر تشعشع محیط و افت دما در دیواره لوله محافظ به صورت آماری و با استفاده از روابط ریاضی روی مقدار دمای اندازه‌گیری شده اصلاح شد.

به غیر از دما یکی دیگر از پارامترهای ضروری برای انتخاب ماده محافظ، ترکیب شیمیایی اتمسفر کوره است. مواد مناسب بسیار متنوعی در اتمسفر خنثی و اتمسفر احیایی برای محافظت از سنسور در دماهای بالاتر از 2000°C وجود دارد اما مشکل اینجاست که در محیط‌های اکسیدی چه راه حلی داریم. برای اندازه‌گیری دماهای بالاتر از 1700°C می‌توان از ترموکوپل‌های نوع B (Pt-30%Ph vs. Pt-6%Rh) استفاده کرد. ماکزیمم دمایی که با این ترموکوپل می‌توان اندازه‌گیری کرد بدون اینکه به آن آسیبی برسد 1800°C است. ترموکوپل نوع B را می‌توان بدون محافظ فقط در محیط‌های اکسیدی یا خنثی استفاده کرد. در کوره فولادسازی این ترموکوپل باید در مقابل آلودگی سرباره محافظت شود. دو رشته سیم از بین دو مسیر باریک ساخته شده از آلومینای زینترشده عبور داده می‌شوند و از عایق الکتریکی بودن آنها اطمینان حاصل می‌شود. ترموکوپل با دو مسیر باریک در داخل یک لوله محافظ که معمولاً از Al_2O_3 زینتر شده ساخته شده قرار می‌گیرد. دو لوله محافظ با انتهای بسته معمولاً استفاده می‌شود. یکی در دیگری قرار گرفته و معمولاً جنس آن متفاوت است. لوله‌ای که به عنوان لوله محافظ به کار برده می‌شود نه تنها تحمل دمای بالا که ویژگی‌های مخصوص دیگری نیز باید داشته باشد که به صورت همزمان در یک ماده وجود ندارد. برای مثال مقاومت در برابر تغییرات سریع دمایی، نفوذ ناپذیری در برابر گاز و مقاومت در برابر حملات شیمیایی محیط (اکسیدکننده‌ها، احیاکننده‌ها و دیگر تأثیرات شیمیایی). اصلی‌ترین نقش لوله بیرونی محافظت در برابر شوک‌های حرارتی است درحالی که لوله داخلی عایق کاری و هوابندی‌های^۱ لازم را فراهم می‌کند. برای اندازه‌گیری دماهای بالاتر از 2000°C باید از ترموکوپل نوع C (W-5%Re vs. W-26%Re) استفاده کرد. این ترموکوپل را می‌توان در محیط خنثی، خلا یا اتمسفر هیدروژن استفاده کرد. در محیط اکسیدی تنگستن به سرعت اکسید و تخریب می‌شود. برای اندازه‌گیری دما در کوره

فولادسازی این ترموکوپل باید در برابر هرگونه تأثیر محیطی محافظت گردد. محافظت نه تنها در برابر اتمسفر داخل کوره که در برابر هوای محیط موجود داخل لوله محافظ نیز باید انجام گیرد.

در مورد ترموکوپل‌های پوسته‌دار نوع C، سیمها در یک لوله فلزی با ضخامت بسیار کم که با MgO یا HfO_2 به عنوان عایق پر شده است قرار می‌گیرند یا از میان دو مسیر باریک ساخته شده از همین جنس عبور داده می‌شوند. غلاف به صورت کامل و هوابند پلمپ می‌شود. برای دماهای به شدت بالا و بیشتر از 1700°C پوسته ترموکوپل از جنس مولیبدن (Mo) یا تانتالیوم (Ta) ساخته خواهد شد. ماکزیمم دمای کاری این ترموکوپل با توجه به ساخت و مواد عایق درون پوسته محدود می‌شود. هرچند مولیبدن می‌تواند تا دمای 2400°C را تحمل کند (دمای ذوب 2620°C دارد) اما در اتمسفر اکسیدی در دمای بالاتر از 2000°C از بین می‌رود.

در نتیجه اگر این ترموکوپل پوسته دار برای محیط اکسیدی به کار برود نیاز به محافظ اضافی خواهد داشت.

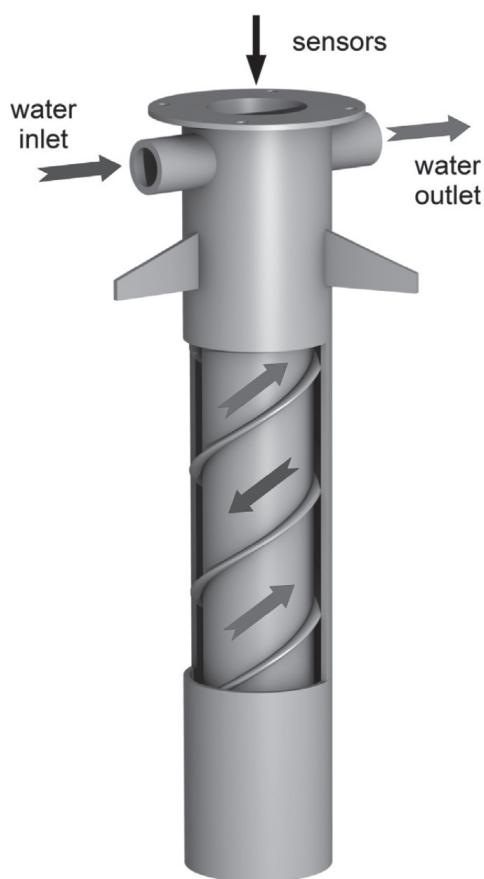
به علاوه در دماهای بالاتر از 1600°C در صورتی که گرفتاری به هر شکلی در محیط موجود باشد موجب حمله به پوسته مولیبدنی و تخریب و ناهمواری آن خواهد شد. در کاربردهایی که احتمال ریسک بالاست توصیه شده است که پوسته مولیبدنی به وسیله لایه نازکی از تنگستن پوشانیده شود و در نتیجه فرآیند نامطلوب کربونیزه شدن حداقل خواهد شد.

این تمهیدات مشکل اکسیداسیون را حل نمی‌کند چرا که در دمای هوای بالاتر از 600°C تنگستن شروع به اکسید شدن می‌کند. تنگستن همچنین به وسیله بخار آب بسیار داغ نیز تخریب می‌شود. هنگام استفاده از این نوع ترموکوپل در کوره فولادسازی باید حتماً از وجود یک سیستم محافظت اضافه در برابر اکسیژن مثل اسپری لایه مکمل محافظ یا لوله محافظ بیرونی اضافه اطمینان حاصل کرد.

برای تانتالیوم محدودیت دمایی در محیط اکسیدی 3000°C است درحالی که تانتالیوم به محیط‌های احیایی نیز حساس بوده و برای اندازه‌گیری دماهای بالا تنها در محیط خلا مناسب است. پوسته‌های فلزی مخصوصی برای ترموکوپل مورد استفاده در

^۱ Hermeticity

مکانیکی سنسور عمل کرده و به طور همزمان شرایط دمایی مطلوبی را برای کابل، اتصالات، تبدیل کننده ها و فرستنده های الکترونیکی^۳ فراهم می کند. طول بوش سرد ۴۰۰ mm است. قطر بیرونی ۷۶ mm و قطر داخلی آن نیز ۵۱ mm است. ورودی و خروجی آب خنک کاری در قسمت بالایی گلند قرار داشته و از بالای آستر خارج می شود. بوش فلزی به وسیله شلنگ های لاستیکی مسلح به آب خنک کاری با فشار ۱۲ bar متصل شد. شکل ۲ نمایی از این بوش را نشان می دهد. بوش با برداشتن دو آجر نسوز در داخل کوره نصب و به وسیله پشم شیشه و ملات نسوز آب بندی شد. انتهای پایینی بوش تقریباً ۶۵ mm بالاتر از سطح داخلی (کاری) آستر جدید قرار گرفت.



شکل ۲. بوش فلزی آبگرد.

دماهای بسیار بالا با پوشش رودیوم و ایریدیوم با ضخامت $100-0.1 \mu\text{m}$ وجود دارد. مطابق با اطلاعات سازنده در دمای 1800°C و در اتمسفر هوای محیط پوشش ایریدیوم با سرعت $1 \mu\text{m}$ بر ساعت از بین می رود و در دمای 2200°C این میزان به $10 \mu\text{m}$ بر ساعت می رسد. ترموکوپل با پوشش ایریدیوم قابل تست شدن در کوره تاندوم نبود اما می توان متصور شد که یک لایه بسیار نازک از ایریدیوم در محیط بسیار خورنده کوره تنها چند ده دقیقه می تواند از سیستم محافظت کند.

در گذشته روش های تماسی دیگری بر پایه اندازه گیری مستقیم دمای آستر و سپس برون یابی^۱ منحنی دمای سطح یک آجر انجام شده است. به دلیل ترک خوردن و پوسته شدن ناشی از شوک حرارتی و محیط خورنده، سطح صاف نبوده و ناهواری خواهد داشت که این ناصافی موجب می شود نتایج حاصل از این روش از دقت کافی برخوردار نبوده و خطای بسیار زیادی داشته باشد. پیش از این سنسورهایی بر پایه کالریمتریک و اندازه گیری گرمای یک المنت فلزی آبگرد که به صورت دوره ای درون کوره قرار می گرفت توسعه یافته بود. حتی این روشها نیز با مشکلاتی از قبیل آلودگی با سرباره، از دست رفتن آستر، پیچیدگیهای طراحی مکانیکی و مواردی از این دست رو برو بود.

۵- طراحی پایه نگه داری سنسور و سیستم خنک کاری

ضخامت آستر جدید تاج کوره مورد نظر ۳۷۵ mm است. مطابق با محاسبات کلی دمای سطح بیرونی آستر بسته به پوشش آن بین 200°C تا 400°C است. دمای لایه داخلی آستر به صورت موقت می تواند تا 1500°C بالا برود.

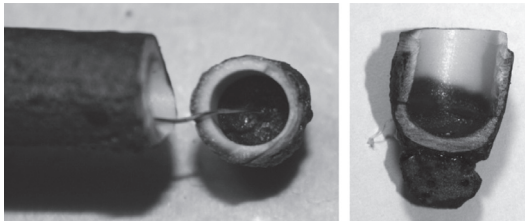
به دلیل اینکه سنسور دمایی همراه با اتصالات و کابل ها باید به صورت مکانیکی در آستر بسیار داغ نصب و محکم در جای خود قرار گیرند یک بوش فولادی آبگرد^۲ طراحی و مونتاژ شد که یک غلاف درجایی که سنسور نصب می شد ایجاد کرد. این راه حل به سنسور اجازه می دهد داخل آستر کوره فرو برده شود بنابراین یک ترموکوپل کوتاه تر با لوله محافظ نیز می توان استفاده کرد. به دلیل اینکه آجرهای معلق در طول فرآیند شارژ تا تخلیه حرکت می کنند می توانند به لوله های محافظ آسیب مکانیکی وارد آورند. بوش فولادی همچنین به عنوان محافظ

¹ extrapolation

² water-cooled steel bushing

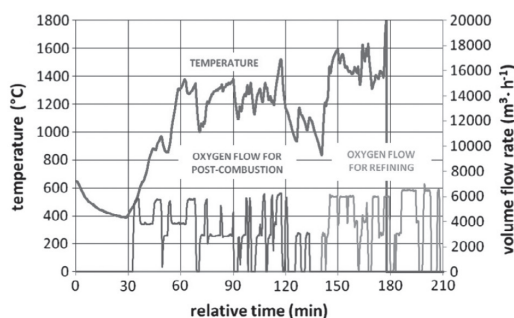
³ transmitter

داخل جداره آلومینایی نفوذ کرده است. در قسمت استوانه ای انتهای لوله یک ترک شکل گرفته است. بنابراین ماده خارجی به داخل لوله نفوذ کرده و نوک ترموکوپل داخل این مواد سیل شده است.



شکل ۴. انتهای لوله محافظ Al_2O_3 بعد از یک سیکل کاری.

روند دمای اندازه گیری شده و جریان اکسیژن ورودی به محفظه تصفیه و نازل های مشعل ثانویه در شکل ۵ نشان داده شده است. محور افقی زمان را نسبت به زمان شروع دیتا برداری نشان می دهد. کوره با آستر جدید به وسیله گاز طبیعی پیش گرم شد.



شکل ۵. دمای اندازه گیری شده به وسیله ترموکوپل نوع B و نرخ جریان اکسیژن.

ثبت دیتا بعد از اتمام پیش گرم و افتادن دمای کوره شروع شد. دما در دقیقه ۳۰ هنگامی که فرآیند تصفیه در محفظه کناری آغاز شد، شروع به افزایش کرد. به منظور احتراق ثانویه، اکسیژن به داخل محفظه اندازه گیری جایی که پیش گرم شارژ انجام می شود دمیده شد.

فرایند تصفیه در محفظه اندازه گیری در دقیقه ۱۴۱ هنگامی که دمش اکسیژن آغاز و دمای اندازه گیری به شدت افزایش

¹ measuring junction

۶- سنسور آزمایشی با ترموکوپل نوع B در لوله محافظ آلومینایی

برای انجام اولین اندازه گیری آزمایشگاهی از ترموکوپل نوع B سیل شده در یک لوله محافظ از جنس Al_2O_3 (آلومینا) با قطر بیرونی ۱۲ mm و ضخامت دیواره ۲ mm استفاده شد. نوک ترموکوپل^۱ (نقطه اندازه گیری دما توسط ترموکوپل) به وسیله جوشکاری تخلیه الکتریکی در محیط آرگون شکل گرفت. این قسمت در تماس با انتهای لوله قرار گرفت. لوله آلومینایی توسط یک لوله خارجی انتها باز دیگر با قطر بیرونی ۴۶ mm و ضخامت دیواره ۴ mm ساخته شده از سرامیک های غیراکسیدی (به خصوص SiC) از جریانات اتمسفر کوره محافظت شد. این لوله SiC به عنوان سپر عملکرد خوبی در برابر تشعشع سطوح داشت.

سنسور به مدت یک سیکل کاری (پیش گرمایش و تصفیه) درون کوره قرار گرفت. لوله SiC بیرونی هر دو محیط را تحمل کرد اما میزان قابل ملاحظه ای از مواد تشکیل دهنده خود را از دست داد. شکل ۳ لوله محافظ بیرونی مصرف شده را نشان می دهد (شکل زیری) و همچنین لوله داخلی که توسط سرباره و پشم شیشه باقی مانده پوشیده شده است (شکل بالایی).



شکل ۳. لوله محافظ پس از یک سیکل کاری کوره.

لوله بیرونی وظیفه خود که محافظت از لوله داخلی بود را به خوبی انجام داده و مانع از ذوب شدن آن شد. لوله داخلی تنها نشانه هایی از فرورفتگی و تغییر شکل را نشان می دهد (شکل ۴). یک لایه ضخیم از رسوب در انتهای لوله آلومینایی منجمد شده است. در مقطع برش خورده مشاهده می شود که سرباره به

یافت، شروع شد. در دقیقه ۱۷۶ یک افزایش قابل ملاحظه دمای اندازه‌گیری شده و رسیدن به دمای 1800°C مشاهده می‌شود. سپس نوک اندازه‌گیر ترموکوپل از بین رفته است. ولتاژ در ورودی تجهیز از حد مجاز 20 mV فراتر رفت. این موضوع با توجه استفاده از ترموکوپل نوع B و اینکه این ترموکوپل در نهایت می‌تواند ولتاژ $13/8\text{ mV}$ تولید کند منطقی به نظر نمی‌آید. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً یک نوک اندازه‌گیر جعلی در داخل لوله محافظ بین پلاتین و آلودگی‌ها به وجود آمده است.

در مرحله تصفیه با روشن کردن سیستم دمش اکسیژن به دلیل واکنش‌های شدیدی که در شارژ انجام می‌شود دمای اندازه‌گیری شده شروع به افزایش کرده است. از نتایج ثبت شده نرخ حجمی اکسیژن چنین چیزی مشهود نمی‌باشد، اگرچه یک افزایش ناگهانی شدید دما در دقیقه ۱۷۶ رخ داده که با میزان اکسیژن مرتبط است.

دو نظریه فرضی برای این افزایش مشخص دما پیشنهاد شد: سنسور دمای دقیق اتمسفر کوره را اندازه‌گیری نمی‌کند و به دلیل تشعشع، سنسور، دمایی بین دمای محیط و دمای ناشی از تشعشع سطوح اطراف را اندازه‌گیری می‌کند. افزایش ناگهانی دما می‌تواند به دلیل اختلال در تعادل گرمایی کوره به دلیل تغییرات جذب اتمسفر دودی کوره صورت گرفته باشد. در نهایت این فرضیه می‌تواند ترکیبی از عوامل ذکر شده و یک افزایش ناگهانی حرارت تولید شده به دلیل احتراق CO در محفظه تصفیه باشد.

فرضیه محتمل دیگر این است که افزایش مقدار دمای اندازه‌گیری شده با دمای واقعی کوره مرتبط نیست بلکه احتمالاً به تخریب ترموکوپل بعد از شکست لوله محافظ و آلوده شدن لوله با مواد خارجی مرتبط باشد.

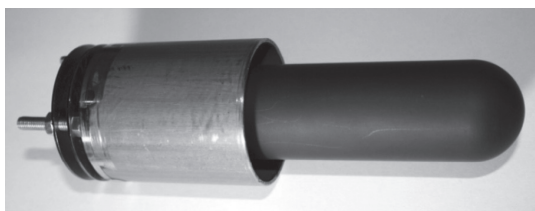
هر دو احتمال بحث شده در بالا ممکن است در یک زمان اتفاق افتاده باشند. به دلیل اینکه در انتهای لوله آلومینایی نشانه‌هایی از نرم‌شدگی^۱ مشاهده شد به احتمال بسیار زیاد سنسور در دمایی بالاتر از دمای 1800°C قرار گرفته است. دمای ذوب Al_2O_3 خالص، بسته به ساختار، 2045°C یا 2072°C است. دمای ذوب آلومینای صنعتی به دلیل وجود مواد اضافی نسبت به آلومینای خالص پایین‌تر است، همین‌طور این موضوع برای دمای نرم‌شدگی نیز صدق می‌کند.

۷. سنسور آزمایشی با ترموکوپل نوع C در لوله محافظ SiC

از دیگر موادی که برای لوله محافظ استفاده می‌شود می‌توان به زیرکونیا (ZrO_2) و سیلیکون کاربید زیتتر شده (SiC) اشاره کرد. به دلیل اینکه SiC مقاومت به شوک حرارتی بهتری دارد و همچنین در آزمایشات قبلی پایداری خوبی از خود نشان داد به عنوان ماده محافظ انتخاب شد.

ترموکوپل نوع C در یک پوسته مولیبدنی با ضخامت 4 mm استفاده شد. به دلیل اینکه ضخامت لوله SiC به مرور در اتمسفر خورنده کم می‌شود یک لوله محافظ ضخیم مخصوص با ضخامت 12 mm ساخته شد. ضخامت بیرونی لوله 32 mm ، ضخامت داخلی 8 mm و طول نهایی آن به دلیل محدودیت تکنولوژی ساخت 150 mm بود.

لوله SiC نیز متصل شد. لوله داخل بوش سرد که با پشم شیشه عایق شد بود قرار گرفت. این لوله می‌تواند 76 یا 110 میلیمتر از بالای بوش سرد خارج شده باشد. شکل ۶ لوله SiC با طول 76 mm خارج از بوش را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمایی از لوله محافظ SiC در حالت نصب مکانیکی.

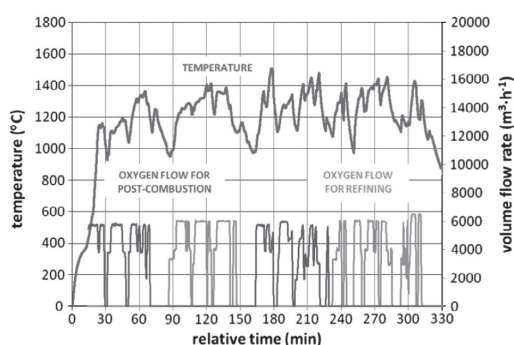
به منظور افزایش مقاومت لوله SiC در مقابل اکسیداسیون، سطح به وسیله اسپری پلازما با دولایه Cr_2O_3 و ZrSiO_4 و ضخامت نهایی $0/4\text{ mm}$ پوشش داده شد. علاوه بر محافظت در برابر اتمسفر کوره، محافظت از ترموکوپل در برابر هوای خارجی محیط نیز لازم است.

^۱ softening



شکل ۸. جزئیات لوله محافظ SiC بعد از ۵ ساعت اندازه‌گیری داخل کوره.

شکل ۹ روند دمای اندازه‌گیری شده به وسیله ترموکوپل نوع C و نرخ جریان اکسیژن را نشان می‌دهد. محور افقی زمان نسبی از شروع دیتا برداری است که قبل از نصب سنسور داخل کوره استارت شده‌است. کوره به دلیل انجام فرایند تصفیه قبلی گرم شده بود. میانگین دمای اندازه‌گیری شده برای یک دوره دو سیکلی 1230°C ، میانگین دما در طول دوره دوم 1270°C و ماکزیم دمای نشان‌داده شده توسط ترموکوپل نوع C 1509°C بود.



شکل ۹. دمای اندازه‌گیری شده توسط ترموکوپل نوع C و نرخ جریان اکسیژن.

تجهیزات اندازه‌گیری از سنسور (ترموکوپل)، کابل‌های اتصال و دیتالاگر تشکیل شده‌است. عدم دقت نسبی^۱ برای ترموکوپل نوع C مطابق اطلاعات سازنده $\pm 1\%$ دمای خوانده شده‌است. ماکزیم دمای اندازه‌گیری شده 1509°C نشان می‌دهد که ماکزیم خطای مطلق^۲ $\pm 15^{\circ}\text{C}$ است. عدم دقت نسبی دیتالاگر از مجموع خطای طول $\pm 0.2\%$ و خطای

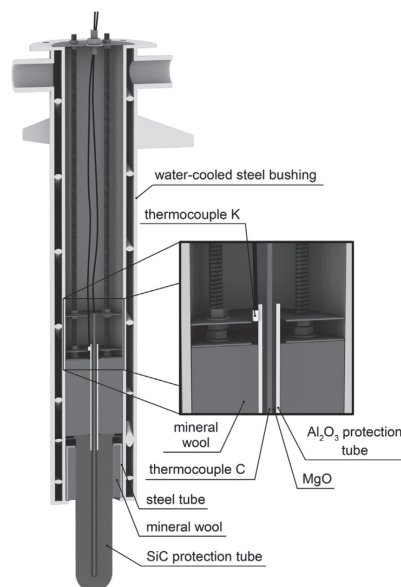
¹ Relative uncertainty

² maximal absolute error

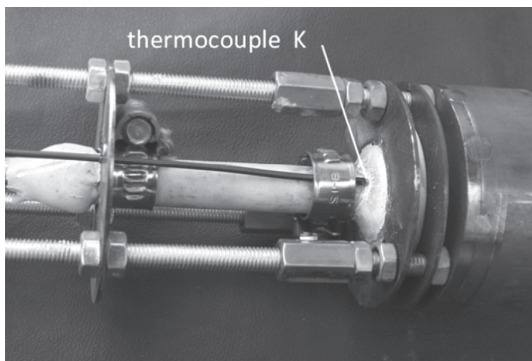
فضای خالی داخل لوله توسط پودر MgO پر شده و به وسیله مواد دیرگداز کاملاً سیل و هوابند شد. لوله SiC از میان یک لوله آلومینایی که خود توسط پشم شیشه عایق کاری حرارتی شده بود عبور داده شد. نمای سنسور در داخل بوش فلزی در شکل ۷ نمایش داده شده‌است. ترموکوپل توسط رابط‌های سرامیکی و کابل‌های رابط به دیتالاگر GRANT Squirrel 1250 متصل شد. لاگر در یک جعبه فلزی و در یک محیط مناسب نگه‌داری شد. برای اندازه‌گیری دمای اتصالات مرجع روی ترمینال‌های دیتالاگر از ترموکوپل نوع K استفاده شد.

سنسور در داخل بوش سرد نصب شده و در ابتدا برای دو سیکل داخل کوره قرار داده شد (تقریباً ۵ ساعت) درحالی که 76 mm از بوش بیرون زدگی داشت. اندازه‌گیری ترموکوپل در طول آزمایش دقیق و قابل اعتماد بود. بعد از برداشتن سنسور از داخل کوره، لوله به وسیله سرباره کاملاً پوشانیده شده بود، شکل ۱۰، اما کاهش ضخامت جداره آن بسیار ناچیز بود.

در آزمایشات بعدی لوله محافظ مشابه که 110 mm بیرون زدگی از بوش داشت را 30 سیکل اضافی دیگر در کوره قرار دادیم (تقریباً 80 ساعت) تا در نهایت شکست. متأسفانه سیم‌های ترموکوپل به دلیل خروج ناگهانی و سریع گاز خروجی زودتر از بین رفت. آزمایشات ادامه خواهد داشت (شکل ۸).



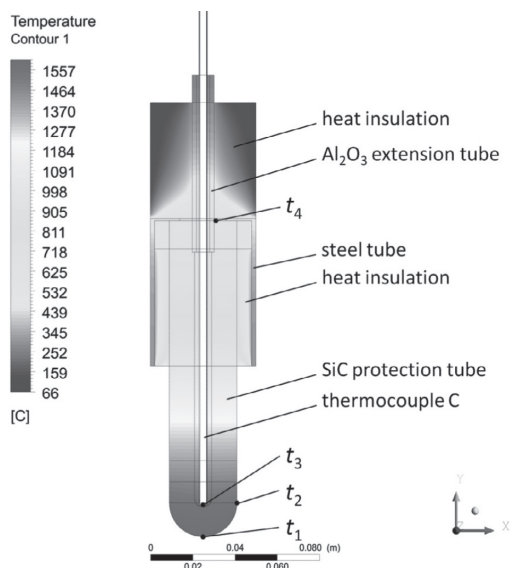
شکل ۷. مدل سه بعدی سنسور نصب شده داخل بوش.



شکل ۱۰. ترموکوپل نوع K برای بررسی صحت شرایط مرزی.

در این مورد، دمای اندازه‌گیری شده در قسمت انتهایی ترموکوپل 1552°C ، دمای سطح لوله انتهایی 1603°C و میانگین دمای سطح کروی لوله 1582°C بود. بنابراین میانگین اختلاف دما در جداره کروی لوله محافظ 30°C بود.

دما در نقاط مشخصی از سنسور مونتاژ شده محاسبه شد. نقشه دمایی نقاط در شکل ۱۱ نشان داده شده است. دماهای انتخابی محاسبه شده برای مقادیر منحصر به فرد شار حرارتی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. دماهای t_2 و t_3 نهایتاً ۲ درجه با هم اختلاف داشته باشند بنابراین با یک الگوی مشابه ترسیم شده‌اند.



شکل ۱۱. نقشه دمایی سنسور برای شارحرارتی 120 kWm^{-2} .

دمای خوانده شده $\pm 0.1\%$ تشکیل شده است. بنابراین ماکزیمم خطای مطلق دیتالاگر $e_1 = \pm 9^{\circ}\text{C}$ است. عدم دقت نهایی تجهیز اندازه‌گیری می‌تواند از طریق هندسی به صورت زیر بیان شود.

$$e = \sqrt{e_s^2 + e_1^2} \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

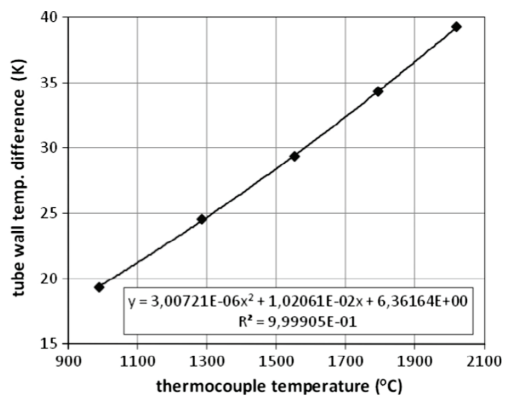
۱.۲. اصلاح اختلاف دما در دیواره لوله محافظ

انتقال حرارت داخلی بین اجزای سنسور مونتاژ شده به صورت مجزا از تبادل گرمای سطح لوله محافظ و کوره محاسبه شد. انتقال حرارت بیرونی با شار حرارتی سطح لوله محافظ جایگزین شد. با استفاده از مدل عددی، اختلاف دمای بین نوک ترموکوپل و دمای سطح لوله برای مقادیر مجزای مختلفی از شار حرارتی روی سطح لوله محاسبه شد. معادله دمایی سنسور به وسیله روش المان محدود حل شد.

شرایط مرزی نوع II (شار حرارتی) روی سطح لوله محافظ به روش زیر اعمال شد: بیشترین شار حرارتی برای انتهای کروی شکل لوله محافظ لحاظ شد که در معرض بیشترین تشعشع قرار داشت. شار حرارتی سپس به صورت خطی در قسمت لخت لوله محافظ بیرون آمده از بوش سرد کاهش یافته تا به شرایط آدیاباتیک در انتهای بالایی بدون محافظ قسمت استوانه ای برسد. این موضوع فرضیه نزدیک بودن دمای لوله محافظ که توسط آستر کوره محاصره شده است به دمای آستر را اثبات کرد، بنابراین شار حرارتی تقریباً صفر است. شرایط سطح برای دیگر سطوح با استفاده از قوانین فیزیکی و معادلات مشخص انتقال حرارت تشعشعی، هدایتی و همرفتی اندازه‌گیری شد.

برای بررسی صحت شرایط مرزی اعمال شده روی سطح سرد سنسور، دمای t_4 با ترموکوپل نوع K (Ni-Cr vs. Ni-Al) اندازه‌گیری شد، همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌کنید.

شبه سازی برای پنج مقدار مختلف شار حرارتی روی انتهای کروی لوله محافظ در رنج 80 تا 160 kWm^{-2} انجام گرفت. به عنوان مثال، دمای سنسور برای شارحرارتی 120 kWm^{-2} محاسبه و در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۴. افت دمای دیواره لوله محافظ.

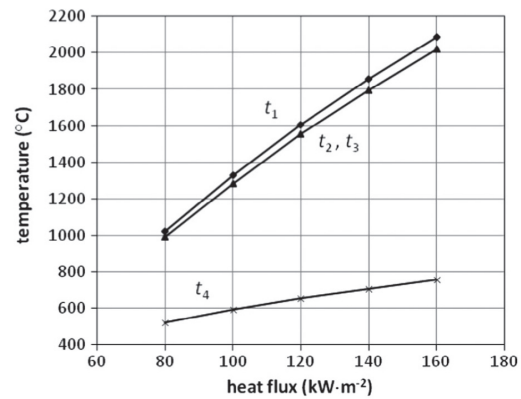
برپایه دمای اندازه گیری شده و شبیه سازی شده یک معادله رگرسیون برای محاسبه میانگین دمای سطح انتهایی کرووی شکل لوله محافظ t_m برحسب دمای اندازه گیری شده به وسیله ترموکوپل t_m نوشته شد؛

$$t_m = 3.01 \times 10^{-6} t_m^2 + 1.02 \times 10^{-2} t_m + 6.36 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3)$$

با توجه به حداکثر افت 29°C دمای جداره لوله محافظ و 1538°C ماکزیمم دمای سطح کرووی انتهایی لوله محافظ، حداکثر دما 1509°C نشان داده شد.

۲.۷. پیش بینی دمای اتمسفر کوره

اندازه گیری دما در محفظه کوره متفاوت از اندازه گیری دمای جامد یا مایع است. در کوره انتقال حرارت تشعشی غالب است. دمای کوره را نمی توان به صورت یک مقدار واحد و مشخص تعریف کرد بلکه نتیجه ای از ترکیب واکنش های حرارتی سنسور، اتمسفر کوره و سطوح شارژ و آستر که دمای متفاوتی دارند و مقادیر مختلف نشر و جذب است. به منظور محاسبه دمای اتمسفر کوره گاز را می توان عایق تشعشع (غباری^۱)، کاملاً هادی تشعشع (از نظر تئوری) یا نیمه هادی (قسمتی غباری و تشکیل شده از گازهای چندقطبی) در نظر گرفت. فرایند انتشار از اتمسفر در طول فرایند تصفیه تغییرات قابل توجهی دارد، بنابراین دو گاز

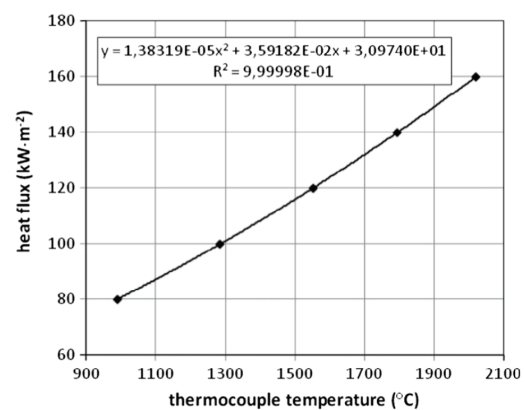


شکل ۱۲. دماهای انتخابی محاسبه شده با استفاده از مدل عددی تابعی از شار حرارتی.

در شکل ۱۳ یک رابطه معکوس بین شار حرارتی و دمای اندازه گیری شده توسط ترموکوپل در انتهای کرووی شکل لوله محافظ وجود دارد.

$$qt = 1.38 \times 10^{-5} t_m^2 + 3.59 \times 10^{-2} t_m + 31 \text{ (Wm}^{-2}\text{)} \quad (2)$$

از شبیه سازی انجام شده یک منحنی به دست آمد که ارتباط بین اختلاف دمای اندازه گیری شده به وسیله ترموکوپل و میانگین دمای سطح کرووی انتهایی لوله محافظ با دمای اندازه گیری شده خود آن را به تصویر می کشد (شکل ۱۴). این ارتباط، منحنی تصحیح سنسور را نشان می دهد.



شکل ۱۳. وابستگی شارحرارتی عبوری از سطح کرووی لوله محافظ به دمای سنسور.

¹ dusty

² absorptancies of radiating surfaces

محافظ A_t (m^2) در سطح اتمسفر کوره A_a (m^2) را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$F_{t-a} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_t} + \left(\frac{1}{\alpha_a} - 1\right) \cdot \frac{A_t}{A_a}} \quad (-) \quad (6)$$

که در آن α_t (-) انتگرال جذب سطح لوله و α_a (-) انتگرال جذب محیط کوره است. گاز از تمام حجم خود تشعشع می‌کند. فرض می‌کنیم که اتمسفر بیرونی تا رسیدن به سطح لوله محافظ کاملاً عایق تشعشع است که بسیار بزرگتر از شعاع لوله است. پس سطح سنسور می‌تواند در مقابل شعاع فرضی اتمسفر نادیده گرفته شود. بنابراین

$$\frac{A_t}{A_a} \rightarrow 0 \quad (7)$$

و فاکتور انتقال^۲ به مقدار جذب لوله محافظ α_t نزدیک خواهد شد

$$F_{t-a} \rightarrow \alpha_t \quad (-) \quad (8)$$

میزان جذب لوله $\alpha_t = 0.8$ تخمین زده شد که به منظور بررسی تأثیر این پارامتر محاسبات با مقادیر ۰/۵ و ۱ نیز انجام گرفت. بر اساس تخمین نرخ جریان اتمسفر و با استفاده از معادله ناسلت^۳ ضریب انتقال حرارت همرفتی h مقدار $50 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ تعیین شد.

شار حرارتی برای هر 10700 دمای اندازه‌گیری شده در بازه ۵ ساعت با استفاده از معادله رگرسیون (۲) و لحاظ کردن معادله (۴) محاسبه شد. مقادیر نامشخص نیز با استفاده از معادله (۵) و ساده گردانی (۸) محاسبه شدند. با این روش حد پایینی دمای اتمسفر کوره محاسبه شد. تأثیر جذب لوله و ضریب انتقال حرارت همرفتی دمای پیش‌بینی شده اتمسفر نیز آنالیز شد:

تأثیر جذب لوله: اگر $\alpha_t = 1$ ، محاسبه دمای کوره 18°C نسبت به محاسبه با دمای $\alpha_t = 0.8$ کاهش می‌یابد. برای $\alpha_t = 0.5$ ، دمای اتمسفر 53°C افزایش یافت، برای هر دو حالت بالاترین دما توسط ترموکوپل در طول آزمایش

فرضی مورد آنالیز قرار گرفت، اولی کاملاً عایق تشعشع و دومی اتمسفر کاملاً هادی تشعشع. در این دو حالت مقادیر حدی بین دمای واقعی اتمسفر کوره محاسبه شد. شار حرارتی داخلی q_t (Wm^{-2}) در سطح لوله محافظ برابر است با شار حرارتی خارجی از سطح لوله به کوره q_{fr} (Wm^{-2}) که مجموع شارهای حرارتی تشعشع q_{fr} (Wm^{-2}) و همرفتی q_{fc} (Wm^{-2}) است.

$$q_t = q_{fr} = q_{fr} + q_{fc} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (4)$$

شارحرارتی از دمای اندازه‌گیری شده با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد. به منظور محاسبه دمای اتمسفر کوره متناظر با شارحرارتی لازم است که ضریب انتقال حرارت همرفتی و جذب تشعشع سطوح^۲ را بدانیم. این پارامترها به صورت تقریبی براساس آزمایش و به کار بردن معادلات مشخص به دست می‌آیند. دمای پیش‌بینی شده اتمسفر کوره با خطای ناشی از ساده سازی معادلات انتقال حرارت کوره و سنسور و همچنین عدم اطلاع از برخی پارامترها که اندازه‌گیری آنها بسیار مشکل یا غیر ممکن است تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

۱.۲.۷. اتمسفر عایق تشعشع

فرض شد که انتقال حرارت توسط تشعشع بین لوله محافظ، ذرات غبار اتمسفر کوره و مولکولهای گازهای چندقطبی صورت می‌گیرد. اتمسفر به واسطه حجم خود تشعشع دیواره های کوره و سطح شارژ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همزمان انتقال حرارت همرفتی بین لوله محافظ و اتمسفر سیال نیز در نظر گرفته شد. شارحرارتی به وسیله تشعشع و همرفت بین سطح لوله و محیط عایق تشعشع به وسیله معادله زیر نشان داده شد که جهت مثبت شار حرارتی از لوله به اتمسفر تعریف شد؛

$$q_{fl} = \sigma_0 \cdot F_{t-a} \cdot (T_t^4 - T_a^4) + h \cdot (T_t - T_a) \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (5)$$

$\sigma_0 = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ثابت استفان-بولزمن^۱، F_{t-a} (-) فاکتور انتقال از لوله به اتمسفر عایق تشعشع، T_t (K) میانگین دمای ترمودینامیکی انتهای کروی لوله محافظ و T_a (K) دمای ترمودینامیکی اتمسفر کوره است.

فاکتور انتقال بین لوله و اتمسفر عایق تشعشع را برای سیستم سطحی و با در نظر گرفتن سطح کروی انتهای لوله

¹ Stefan-Boltzmann's constant

² transfer factor

³ Nusselt criteria

۱۵۰۹°C نشان داده شد.

تأثیر ضریب انتقال حرارت همرفتی: اگر همرفت لحاظ نشود ($h=0$) دمای محاسبه شده اتمسفر کوره ۱۲°C افزایش می‌یابد (بالاترین دما ۱۵۰۹°C به وسیله ترموکوپل نشان داده شد). در حالتی که $h=100\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ دمای کوره ۱۲°C کاسته شد، در هر دو حالت دمای محاسبه شده با شرایط $h=50\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ مقایسه شد.

مشخص است که پارامترهای آنالیز شده تأثیر چندانی بر دمای محاسبه شده اتمسفر کوره ندارند و در کل تأثیر انتقال حرارت همرفتی بین سنسور و اتمسفر عایق تشعشع قابل صرف نظر است.

این مدل‌های محدود کننده فرضی مقادیر حد پایینی بازه دمای اتمسفر را مشخص کردند.

۲.۲.۲. اتمسفر کاملاً هادی تشعشع

در این حالت فرض می‌کنیم اتمسفر کاملاً هادی تشعشع است. تشعشع گاز که در محدوده کوتاهی از طول موج اتفاق می‌افتد ناچیز است. تبادل حرارت لوله محافظ تنها از طریق همرفتی صورت می‌گیرد. تشعشع نیز به صورت همزمان بین لوله محافظ و سطوح شارژ و دیواره‌های کوره از طریق اتمسفر هادی تشعشع در جریان است. دمای اتمسفر T_a و محیط اطراف T_s با هم تفاوت دارند. شار حرارتی به صورت فرمول زیر مشخص شد؛

$$q_{12} = \sigma_0 \cdot F_{t-s} \cdot (T_t^4 - T_s^4) + h \cdot (T_t - T_a) \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (9)$$

که F_{t-s} فاکتور انتقال از لوله به سطوح کوره و شارژ و T_s (K) دمای ترمودینامیکی ناشی از تشعشع سطوح کوره و شارژ هستند. اگر ناحیه احاطه کننده سطوح داخلی کوره و شارژ خیلی بزرگتر از ناحیه کروی انتهای لوله باشد، فاکتور انتقال می‌تواند با جذب لوله تعویض شود

$$F_{t-s} \rightarrow \alpha_t \quad (-) \quad (10)$$

در این حالت دو دمای نامشخص داریم، دمای اتمسفر t_a و دمای ناشی از تشعشع سطوح اطراف t_s که این دو دما را نمی‌توان باهم محاسبه کرد. از این رو دمای ناشی از سطوح اطراف t_s تخمین زده شد و دمای کوره t_a به وسیله یک روش معمول و پرکاربرد مشابه روشی که در اتمسفر عایق تشعشع با استفاده از معادلات (۲)، (۴) و (۹) و ساده سازی (۱۰) استفاده شد، محاسبه گردید.

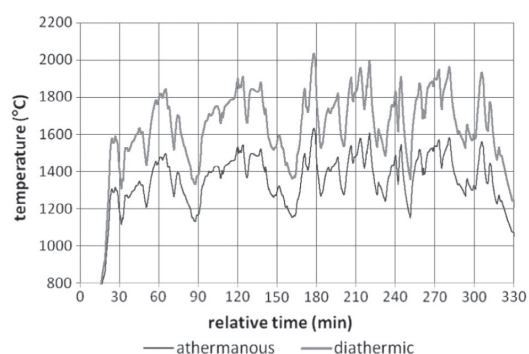
محاسبه دمای نهایی دیواره‌های اطراف به دلیل کمبود اطلاعات بسیار مشکل است. اکسیژن با شارژ واکنش داده و تولید گرما می‌کند و همچنین به دلیل احتراق ثانویه CO در فضای کوره، این اتمسفر احتمالاً بالاترین دمای سیستم را خواهد داشت. انتظار داریم که دمای ناشی از تشعشع سطوح اطراف در محدوده ای بین دمای اتمسفر محیط عایق تشعشع که در بخش قبل (a) بررسی شد و دمای لوله محافظ قرار داشته باشد. دمای ناشی از تشعشع سطوح در هر زمان مشخصی به عنوان متوسط این دو دما اندازه‌گیری شد. این میزان برای میانگین دمای ناشی از تشعشع سطوح در طول سیکل دوم تقریباً ۱۴۰۰°C بود که با نتایج آزمایش دیگری که برای اندازه‌گیری دمای داخلی آستر تاج کوره انجام شد مطابقت دارد. دمای سطوح دیواره‌های کناری کوره مشخص نبودند. ماکزیمم دمای شارژ تقریباً ۱۶۲۰°C بود اما سطح شارژ معمولاً توسط سرباره با دمای نامشخص پوشیده شده است.

دمای دیواره‌های اطراف در این مورد فرضی تأثیر بسزایی روی دمای پیش بینی شده اتمسفر دارد. دمای پایین تر تشعشع سطوح اطراف دمای اتمسفر بالاتری را پیش بینی کرد. مانند مورد قبلی، مقادیر $\alpha_t = 0/8$ و $h=50\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ انتخاب شد. این مدل محدود کننده فرضی مقدار حد بالایی بازه دما را مشخص کرد.

۲.۳.۲. نتایج پیش بینی دمای محیط کوره

بر اساس دماهای اندازه‌گیری شده به وسیله ترموکوپل نوع C در طول دو سیکل فرایند تصفیه، نشان داده شده در شکل ۹، مقادیر حد بالایی و پایینی دمای ممکن اتمسفر کوره t_a با استفاده از الگوریتم‌های توضیح داده شد محاسبه شدند. شکل ۱۵ محاسبه حد بالایی و پایینی دما برای پارامترهای $\alpha_t = 0/8$ و $h=50\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ را نشان می‌دهد. برای ماکزیمم دمای ۱۵۰۹°C نشان داده شده توسط ترموکوپل، بیشینه دمای سطح لوله محافظ ۱۵۳۸°C محاسبه شد و با تقریب خوبی دمای اتمسفر کوره ۱۸۳۵°C به عنوان میانگین دماهای حد بالا و پایین ۱۶۳۴°C و ۲۰۳۶°C پیش بینی شد. این موضوع نشان می‌دهد که دمای واقعی اتمسفر می‌تواند تا مقدار ± 201

درجه (۱۱%) از مقدار میانگین انحراف داشته باشد.



شکل ۱۵. حدود محاسبه شده بازه دمایی اتمسفر کوره

برای مینیمم مقدار 972°C که توسط ترموکوپل در طول سیکل دوم (بین دقیقه ۱۶۵ تا دقیقه ۳۰۰) نشان داده شد، دمای سطح لوله محافظ 991°C محاسبه شد و مقدار میانگین دمای اتمسفر کوره 1225°C به عنوان مرکز بازه دمای فرضی 1152°C و 1358°C پیش بینی شد. این نشان می‌دهد که دمای واقعی اتمسفر می‌تواند با انحرافی $\pm 10.3\%$ درجه سانتی گراد (۸%) از مقدار میانگین انحراف داشته باشد.

محاسبه دمای اتمسفر بر پایه محاسبات ساده سازی شده بسیاری انجام شد. در فرایند واقعی پارامترهای جذب و ضریب انتقال حرارت همرفتی در طول فرایند ثابت نیستند. همچنین آلودگی و ترکیب شیمیایی اتمسفر کوره و ویسکوزیته آن به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. با توجه به این دلایل، اتمسفر واقعی شرایط هیچ کدام از مدل‌های محدود کننده فرضی که بحث کردیم را نخواهد داشت اما رفتاری شبیه اتمسفر نیمه هادی تشعشع دارد، بنابراین انتظار می‌رود که بازه دمای واقعی اتمسفر کوچکتر شود.

۸. جمع بندی

شرایط برای اندازه گیری دما در کوره فولادسازی به دلیل دمای بسیار بالا، تغییرات سریع دمایی و به خصوص ترکیب شیمیایی و آلودگی اتمسفر بسیار مشکل است. اتمسفر کوره اکثراً اکسیدی و حاوی ذرات جامد و مایعی است که با مواد سنسور واکنش داده و روی سطح آن رسوب می‌کنند. با این شرایط مشخص است که استفاده

از پیرومتر مکشی و روش‌های اندازه گیری غیر تماسی نوری یا صوتی غیرممکن است. بنابراین از یک سنسور با استفاده از یک ترموکوپل داخل یک لوله محافظ طراحی و استفاده شد. با تست کردن مواد به منظور محافظت از سنسور مشخص شد که مناسب ترین ماده برای لوله محافظ SiC زینتر شده است. سنسور در داخل یک بوش فلزی با سیستم آبگرد داخل کوره نصب گردید.

اولین اندازه گیری با استفاده از ترموکوپل نوع B با لوله محافظ Al_2O_3 که در داخل پوسته محافظ دیگری از جنس SiC قرار داشت انجام شد. سنسور برای تقریباً 150 دقیقه داخل کوره نگه داشته شد. سنسور به دلیل دمای به شدت بالا و یا ایجاد ترک در لوله و آلودگی سر باره تخریب شد.

سنسور دیگری که از نظر عملیاتی مناسب است با استفاده از مونتاژ یک ترموکوپل نوع C در داخل یک لوله محافظ با جداره نازک و از جنس SiC زینتر شده تولید شد. لوله به مدت 80 ساعت از ترموکوپل محافظت کرد (30 سیکل کاری کوره).

با استفاده از یک مدل سه بعدی المان محدود ضریب تصحیح برای جبران افت دمای دیواره لوله به دست آمد. به دلیل انتقال حرارت تشعشعی بین اتمسفر کوره و سطح شارژ و آستر کوره، دمای اندازه گیری شده با دمای اتمسفر کوره تفاوت دارد. ترکیب شیمیایی متغیر و آلودگی اتمسفر کوره محاسبه دمای واقعی کوره را پیچیده می‌کند. محدوده های تئوریک بازه دمایی اتمسفر کوره برای دو حالت فرضی محاسبه شد، یکی برای حالت ایده آل عایق تشعشع و دومی برای حالت هادی کامل تشعشع. محدوده بازه فاصله ای $\pm 10.3\%$ از مینیمم مقدار میانگین دمای 1255°C اتمسفر و به طور مشابه $\pm 2.1\%$ درجه سانتی گراد از مقدار ماکزیمم دمای اتمسفر 1835°C دارند. عملاً، اتمسفر واقعی کوره نیمه هادی است، بنابراین محدوده امکان پذیر دمای اتمسفر کوره احتمالاً باریکتر می‌شود.

انتظار مهمتری که از این سنسور طراحی و آزمایش شده می‌رود استفاده از آن به عنوان سنسور نسبی بار حرارتی آستر کوره نسبت به سنسور مطلق دمای اتمسفر کوره است.

اثر انواع فولاد HSLA کم و متوسط کربن بر پارامترهای نورد گرم در دماهای رسوب کردن

ترجمه: محمدحسین نشاطی

شرکت فولاد آلیاژی ایران

خلاصه

این مقاله به مطالعه اثر فولاد پر استحکام کم آلیاژ (HSLA) با کربن کم و متوسط بر پارامترهای نورد، همانند نیروی جداکننده و گشتاور موتور اصلی می‌پردازد. تنش سیلان توسط رگرسیون از نیروی جداکننده بدست می‌آید. با مقایسه تنش‌های جریان، همبستگی بین کربن محتوی و محدوده دمای رسوب کردن ارائه شده است. از نتایج می‌توان برای تنظیم دقیق دمای نورد کنترل شده استفاده کرد.

کاربدها، نیتrideها و یا کربونیتrideها حضور دارند. عناصر آلیاژی حلالیت محدودی در فولادی دارند که تحت تأثیر کربن و نیتروژن محتوی، و همچنین دمای فولاد قرار گرفته است. حل شدن رسوب می‌تواند در هر دمایی رخ دهد. در آستنیت، حلالیت عناصر میکروآلیاژهای معمول در جدول ۱ درج شده اند. وابستگی به دمای حاصلضرب حلالیت آنها به شرح زیر ارائه شده است:

$$\log [\% X][\% Y] = -\frac{A}{T_k} + B \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن:

X% و Y% = درصد وزنی عناصر X و Y در محلول،

$$T_k = T + 273$$

T = دمای قطعه کار (C°)

A و B = اعداد ثابت (در ادامه به طور مفصل مورد بحث قرار می‌گیرند).

در معادله ۱، هرچه دما بالاتر، حلالیت بیشتر. عناصر واکنش کننده در طی گرم کردن در آستنیت محلولتر هستند. قابل توجه است که اعداد ثابت در معادله ۱ بر

مقدمه

برای کاربردهائی همچون برج های مبدل، پل های جوشکاری شده و لوله های API، چقرمگی در دمای پایین بسیار مهم است. مشخصات نیاز به افزودن تیتانیوم و وانادیم، نیویوم و نیتروژن، یا ترکیبات آنها، برای دستیابی به استحکام بالا و چقرمگی عالی دارد.

در نوردکاری گرم، میکروآلیاژها در آستنیت یا محلول به صورت عنصرند یا به صورت رسوباتی، همانند

جدول ۱- وابستگی به دمای حاصلضرب حلالیت برای کاربردها و نیتrideها.

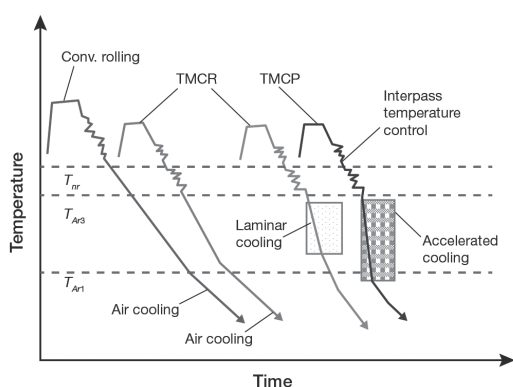
حاصلضرب حلالیت، K	$\log_{10} K$	حاصلضرب حلالیت، K	$\log_{10} K$
[%N][%Ti]	$-8000/T_k + 0.32$	[%N][%V]	$-7840/T_k + 3.02$
[%C][%Ti]	$-10475/T_k + 5.33$	[%C][%V]	$-9500/T_k + 6.72$
[%N][%Nb]	$-10230/T_k + 4.04$	[%N][%Al]	$-6770/T_k + 1.03$
[%N][%Nb]	$-6770/T_k + 2.26$	[%N][%B]	$-6700/T_k + 0.2$

۱. این متن ترجمه کاملی از مقاله زیر است:

Effect of Low- and Mild-Carbon HSLA Steels on Hot Rolling Parameters Under Precipitation Temperatures, Iron & Steel Technology, November 2015.

² Transformer Towers

در اندازه حداقل ۳-۱/۵ برابر اندازه نهائی ضروری است. در طراحی زمان بندی کالیبر، انتظار بر این است که دمای نورد کالیبرهای نهائی باید زیر دمای عدم تبلور مجدد^۴ باشد. کاهش دمای کالیبر نهائی ممکن است تا نزدیکی دمای شروع کینتیکی تغییر فاز فریت، T_{Af3} ادامه یابد. این مسیر به نام نورد کنترل شده ترمومکانیکی شناخته می شود (TMCR). ترکیب TMCR با تکنولوژی خنک کاری سریع، مانند سرد کردن تسریع شده و کونچ مستقیم، فریت سوزنی بسیار ریز و یکنواخت در ریز ساختار ایجاد می کند، که منتج به استحکام بالاتر و چقرمگی بهتر می شود. اگر فرآیند گرم کردن مجدد رسوبات را به طور کامل در محلول نگه دارد و رشد دانه آستنیت را کنترل کند، این مسیر به طور معمول فرآیند کنترل ترمومکانیکی (TMCP) نامیده می شود، به صورتی که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. طرح وابستگی به زمان نورد و خنک کاری صفحه ورق.

در TMCR، مشاهده می شود که نیروی غلتک و گشتاور در مقایسه با فرآیند نورد معمولی به شدت افزایش می یابند. گاهی اوقات، آنها فراتر از توانائی خط نورد، یعنی نیروی غلتک اندازه نهائی نازک و گشتاور غلتک اندازه نهائی ضخیم هستند. علاوه بر این، مشخص شده است که یک تفاوت بزرگ در پارامترهای نورد بین فولادهای HSLA کم کربن (LC) و متوسط کربن

اساس عناصر آلیاژی چندتائی می باشند. مقدار آنها ممکن است متفاوت از مقدار آنها برای یک عنصر آلیاژی منفرد باشد. هنگام نورد اسلب به صفحه ورق^۱، دمای آن از یک کالیبر تا کالیبر بعدی به علت از دست دادن طبیعی حرارت و پاشش آب پوسته زدائی کاهش می یابد. با کاهش دما، آستنیت با عناصر واکنش کننده فوق اشباع می شود. مقدار اضافی میکروآلیاژها شروع به رسوب کردن می کند. رسوبات ریز تبلور مجدد و رشد دانه آستنیتی را به تأخیر می اندازند. رسوبات وانادیم و نیویوم حلالیت نسبتاً بالائی در مقایسه با عناصر دیگر دارند، بالاترین حلالیت مربوط به وانادیم است. کاربیدهای آن در پایین ترین دماها حل می شوند، که باعث درشت شدن ناپوسته دانهها در دمای پایین تر از عناصر دیگر می شود. نیتrideهای تیتانیم در دماهای بالا بسیار پایدار هستند. اگر مقدار کافی نیتريد تیتانیم موجود باشد آنگاه هیچ میزانی از درشت شدن دانه وجود نخواهد داشت یا تنها اندکی موجود خواهد بود.

بررسی اینکه چگونه رسوبات بر پارامترهای نورد تأثیر می گذارند جالب است. در خروجی غلتک در نورد گرم، آستنیت سه مرحله را از وضعیت تغییر شکل یافته خود طی می کند: بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه. با کاهش دمای نورد، به خصوص در کالیبرهای نهائی، تعداد زیادی رسوب تشکیل و در آستنیت پخش خواهند شد. کاهش زیاد سطح مقطع می تواند به نفوذ عمیق رسوبات در دانهها از مرز دانه منتج شود. هنگامی که دمای نورد بالاتر از دمای تبلور مجدد است، نفوذ عمیق ریز کردن دانه های درشت آستنیتی اولیه را تقویت می کند. اگر کاهش سطح مقطع ناکافی باشد، رسوبات تبلور مجدد و رشد دانهها را تنها تا حد اندکی به تأخیر می اندازند. هنگامی که دمای نورد زیر دمای تبلور مجدد است، آستنیت به شکل شبه پهن شده^۲ باقی می ماند. زیاد کردن کاهش سطح مقطع به ازدیاد طول بیشتری در آستنیت "پهن شده" منتج می شود. در سرد کردن، رسوبات به ریز کردن فریت کمک می کنند. هرچه نسبت ابعاد^۳ آستنیت بیشتر، دانه های فریت حاصل ریزتر. به همین دلیل کنترل دمای بین کالیبرها در آغاز

¹ Plate

² Pancaked

³ Aspect ratio

⁴ Non-recrystallization

h_o = اندازه ضخامت ورودی به غلتک، mm.

تنش سیلان

تنش سیلان به صورت مقدار لحظه‌ای تنش مورد نیاز برای ادامه تغییر شکل پلاستیک مواد، یعنی، برای حفظ سیلان فلز تعریف می شود. تنش سیلان متوسط در گیرش بین غلتک ها تابعی از متوسط دما، متوسط کرنش حقیقی و متوسط سرعت کرنش می باشد، که می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\bar{\sigma}_i = A_0 e^{-m_1 \bar{T}_i} \bar{\epsilon}_{mi}^{m_2} \bar{u}_i^{-m_3} \quad (5) \text{ معادله}$$

$$\bar{\epsilon}_{mi} = \ln \frac{3}{3 - 2\epsilon_i} \quad (6) \text{ معادله}$$

$$\bar{u}_i = \frac{v}{L_{di}} \epsilon_i \quad (7) \text{ معادله}$$

که در آن:

$\bar{\sigma}_i$ = متوسط تنش سیلان فلز بین غلتک ها،

A_0 = عدد ثابت،

\bar{T}_i = متوسط دما،

$\bar{\epsilon}_{mi}$ = متوسط کرنش حقیقی،

\bar{u}_i = متوسط سرعت کرنش،

ϵ = نرخ کاهش سطح مقطع، $\Delta h/h_o$ ،

Δh = کاهش ضخامت،

h_1 = ضخامت قطعه کار در خروجی غلتک ها،

L_{di} = طول برآمده قوس سطح تماس با غلتک ها،

v = سرعت صفحه ورق در خروجی،

m_1, m_2, m_3 = اعداد ثابت و اندیس i تعداد کالبر.

هنگامی که نیروی غلتک بر سطوح غلتک در طول

قوس تماس وارد می شود، خطوط هندسی غلتک های

کاری به علت تغییر شکل الاستیک تغییر می کند.

هیچکاک^۲ تخت شدن غلتک را در نظر گرفت و تصویر

طول قوس را به صورت زیر استنتاج کرد:

$$L_{di} = \sqrt{R\Delta h_1 + x_{oi}^2} + x_{oi} \quad (8) \text{ معادله}$$

(MC) وجود دارد. این مقاله اثر فولادهای HSLA کم کربن (LC) و متوسط کربن (MC) بر پارامترهای نورد را با مقایسه تنش های سیلان این گریدها بررسی می کند. تنش های سیلان از نیروی غلتک اندازه گیری شده و معادله تجربی نیروی غلتک توسط رگرسیون بدست می آیند. با استفاده از تنش های سیلان فولادهای HSLA، همبستگی بین میزان کربن و محدوده دمای رسوب کردن ارائه می گردد. از نتیجه می توان برای کنترل دقیق دمای نورد استفاده کرد.

دماهای بحرانی در TMCR

از آنجا که رسوبات میکروآلیاژی تبلور مجدد را به تأخیر می اندازند، درصد وزنی عناصر آلیاژی قطعاً بر دمای تبلور مجدد تأثیر می گذارد. هدف نهایی TMCR رسیدن به فریت ریز و سوزنی است. دماهای شروع و توقف سینتیکی پیش نیاز می باشند. به صورتی که بررسی شده دماها نیز با ترکیب شیمیایی ارتباط دارند. برای دستیابی به برآوردی از دمای عدم تبلور مجدد آستنیت و دمای تغییر فاز فریت برای هر دو فولاد HSLA کم و متوسط کربن، براتو^۱ فرمول هائی را به صورت معادلات ۲ تا ۴ برقرار کرد.

(۲) معادله

$$T_{nr} = 887 + 464[\%C] + (6445[\%Nb] - 644[\sqrt{[\%Nb]}]) + (732[\%V] - 230[\sqrt{[\%V]}]) + 890[\%Ti] + 363[\%Al] - 357[\%Si] \quad (3) \text{ معادله}$$

$$T_{Ar3} = 910 - 310[\%C] - 80[\%Mn] - 20[\%Cu] - 15[Cr] - 80[\%Mo] + 0.35(h_o - 0.8)$$

$$T_{Ar1} = 706.4 - 350.4[\%C] - 118.2[\%Mn] \quad (4) \text{ معادله}$$

که در آن:

T_{nr} = دمای عدم تبلور مجدد (°C)،

[%...] = درصد وزن عناصر آلیاژی،

T_{Ar3} = دمای شروع سینتیکی تغییر فاز فریت (°C)، یعنی دمای Ar3،

T_{Ar1} = دمای توقف سینتیکی تغییر فاز فریت (°C)، یعنی دمای Ar1 و

¹ Boratto

² Hitchcock

$$X_{oi} = 8R\bar{p}_i \frac{1 - \vartheta^2}{\pi E} \quad \text{(معادله ۹)}$$

که در آن:

X_0 = تصویر طول قوس اضافی ناشی از تخت شدن غلتک،

R = شعاع غلتک کاری،

E و ϑ = به ترتیب مدول یانگ و نسبت پواسون غلتک کاری

\bar{p}_i = متوسط تنش فشاری در امتداد تصویر طول قوس.

پارامترهای نورد

برای فرآیند TMCR، کنترل کلی گرم کردن مجدد اسلب، نوردکاری و خنک کاری صفحه ورق ضروری است. پارامترهای کنترل شامل زمان گرم کردن مجدد، دمای تخلیه از کوره پیشگرم، دمای بین کالیبرها، دمای نهائی، کاهش سطح مقطع کالیبر، سرعت نورد، سرعت خنک کاری و دمای نهائی خنک کاری است. همه این پارامترها در نهایت بر ریزساختار و خواص فولاد تأثیر می گذارند.

نیرو و گشتاور غلتک دو پارامتر اصلی نورد هستند. در طی فرآیند TMCR، مقداری از رسوبات عناصر آلیاژی برای مثال، نیتrideهای وانادیم در یک حلالیت نسبتاً بالا در دمای بالا شروع می شوند. رسوبات دیگری ممکن است در دمای کم ظاهر شوند. در قطعه کار، بین دمای سطح و دمای مغز آن تفاوت وجود دارد. بنابراین، هنگامی که دمای نورد زیر دمای عدم تبلور مجدد است، رسوب کردن فرآیندی پیوسته است. از این رو، در یک دمای خاص، تنش سیلان به یک مقدار پایدار و بالا می رسد. تنش سیلان را می توان از طریق آزمایش با دستگاه Gleeble® نیز به دست آورد. روش موثر دیگر برای تعیین تنش سیلان تبدیل از نیروی غلتک است. برقراری یک رابطه دقیق بین نیروی غلتک و تنش سیلان مهم است. از یک مدل تجربی نیروی غلتک بر اساس نظریه Orowan برای برقراری رابطه تنش سیلان و نیروی غلتک استفاده می شود. با فرض اینکه شرایط اصطکاکی در

سطح تماس بین غلتک و قطعه کار از ورودی تا خروجی گیرش غلتک مشمول قانون Coulomb می باشد، جامع ترین مدل نیروی غلتک توسط Orowan توسعه داده شده است. بعداً، Sims فرض کرد که کل گیرش غلتک منطقه چسبنده بوده و بنابراین مدل پیچیده ای را توسعه داد. الکساندر و فورد نشان دادند که به نظر می رسد نظریه Orowan عمدتاً در طی ارزیابی گشتاور غلتک در خطا باشد. آنها میدان خط لغزش^۱ و درج زاویه ای با مقدار $\bar{\omega}/4$ در فرمول Orowan را معرفی کردند. برآورد نیرو و گشتاور غلتک دقیقتر است. پس از تحقیقات الکساندر و فورد، آنگاه Shida با انجام مجموعه ای از تحقیقات که شامل اصلاح ضریب وضعیت^۲ تنش و تنش سیلان مواد بر اساس داده های تجربی نوردکاری خود وی بود به این موضوع کمک کرد. مدل نیروی غلتک Sims به صورت شده است.

$$p_i = 2k_{mi} \bar{L}_{di} b_i Q_{pi} \quad \text{(معادله ۱۰)}$$

که در آن:

$$b_i = \text{عرض صفحه ورق و}$$

$2k_{mi}$ = تنش مقاومت در برابر تغییر شکل. در کرنش فشاری صفحه ای، می توان آن را با $2/\sqrt{3}\bar{\sigma}_i$ جایگزین کرد.

در معادله ۱۰، Q_{pi} ضریب وضعیت تنش است که به شدت تحت تأثیر شکل هندسی گیرش غلتک، شرایط سطح تماس بین غلتک ها و نوار ورق نورد شده، ضریب اصطکاک چسبنده (ویسکوز) و سرعت نورد است. Shida یک ضریب وضعیت تنش به شرح زیر نیز تعیین کرد:

$$Q_{pi} = \left[0.8 + C_i \left(\sqrt{\frac{R}{h_i}} - 0.5 \right) \right] \quad \text{(معادله ۱۱)}$$

$$C_i = \begin{cases} \frac{0.052}{\sqrt{\varepsilon_i}} + 0.016, \varepsilon_i \leq 0.15 \\ 0.2\varepsilon_i + 0.12\varepsilon_i, \varepsilon_i > 0.15 \end{cases} \quad \text{(معادله ۱۲)}$$

$$\bar{h}_i = \frac{h_1 + h_0}{2} \quad \text{(معادله ۱۳)}$$

در ضمن، Shida یک معادله پایه ای^۳ (مدل) قابل اجرا

^۱ Slip line field

^۲ Status factor

^۳ Constitutive equation

گشتاور غلتک به معنی گشتاور کل محرک هر دو غلتک کاری است. گشتاور غلتک توسط رابطه زیر ارائه می شود:

$$M_i = 2P_i L_{di} \varphi_i \quad \text{معادله (۱۶)}$$

در معادله ۱۶، φ_i ضریب بازوی اهرم^۳ است. تعیین ضریب بازوی اهرم مشکل است زیرا توزیع فشار نوردکاری در امتداد تصویر قوس تحت تأثیر عوامل بسیاری، همانند تنش، اصطکاک و نسبت تصویر طول قوس به اندازه (L_{di} / \bar{h}_i)، و غیره قرار دارد. برای دستگاه نورد استکل^۴ و اسلب های ریخته گری پیوسته ۵/۲۵ اینچ، مقدار آن بین ۰/۴۰ و ۰/۶۰ متفاوت است. می توان آنرا از نیرو و گشتاور غلتک اندازه گیری شده و تصویر طول قوس محاسبه شده با رگرسیون بدست آورد. ضریب بازوی اهرم از رابطه زیر به دست می آید:

$$\varphi_i = 0.5 \left(0.787 + 0.179 \frac{L_{di}}{h_i} \right) \quad \text{معادله (۱۷)}$$

فولادهای HSLA کم و متوسط کربن

برای مقایسه پارامترهای نورد فولادهای HSLA کم و متوسط کربن، دو گرید برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. به جز عناصر کربن، منگنز، آلومینیوم، نیویوم و وانادیم، سایر عناصر به میزان بسیار جزئی^۵ وجود دارند. ترکیب شیمیایی نمونه وار آنها در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس ترکیب، وابستگی به دمای حاصلضرب حلالیت برای کاربیدها و نیتrideها از معادله ۱ محاسبه شدند و از بالاترین تا پایین ترین دما در جدول ۳ مرتب شدند.

تحت شرایط کربن ۱/۲۰-۰/۰۷ درصد، دمای ۱۲۰۰°C-۷۰۰ و کرنش تا ۰/۷، اما غیرقابل اجرا در محدوده سرعت های کرنش بیشتر از ۱۰۰s⁻¹ ارائه داد. از آنجا که سرعت های کرنش نورد صفحه ورق کمتر از ۲۰s⁻¹ می باشد، از مدل Shida می توان برای ارزیابی تنش سیلان در نورد صفحه ورق استفاده کرد. هنگامی که دمای نورد بالاتر از دمای بحرانی (T_c °C) باشد، تنش سیلان Shida، به صورت زیر بیان می شود:

$$\bar{\sigma}_i = 0.28 \exp \left(\frac{5.0}{T_n} - \frac{0.01}{[\%C] + 0.05} \right) \left[1.3 \left(\frac{\bar{\epsilon}_i}{0.2} \right)^m - 0.3 \left(\frac{\bar{\epsilon}_i}{0.2} \right) \right] \left(\frac{u_i}{10} \right)$$

معادله (۱۴)

$$T_c = 950 \frac{[\%C] + 0.41}{[\%C] + 0.32} - 273 \quad \text{معادله (۱۵)}$$

که در آن

[%C] = درصد وزنی کربن،

$m = 0.41 - 0.07[\%C]$

$n = (-0.019[\%C] + 0.126) T_n + (0.076[\%C] - 0.05)$

$T_n = T_k / 1000$

توسعه این "معادله پایه ای" بر اساس داده های تجربی بدست آمده از دستگاه های آزمایش از نوع فشار، دمای بالا، سرعت کرنش زیاد بخصوص مناسب شده برای اندازه گیری تنش سیلان، یعنی، انواع بادامکی (کمپلاستومر^۱) و پتک ضربه ای^۲ می باشد. شرایط اصطکاک سطحی کاملاً متفاوت از نورد گرم است. دقت "معادله پایه ای" قبل از استفاده نیاز به اعتبارسنجی دارد.

یک پارامتر مهم دیگر نورد گشتاور غلتک است.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی فولادهای HSLA کم و متوسط کربن (%).

HSLA ID	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	B	Cu	Cb	Ti	V	N
LC	0.075	0.035	1.456	0.12	0.02	0.07	0.030	0.00010	0.196	0.045	0.0011	0.082	0.0095
MC	0.173	0.038	1.259	0.07	0.02	0.07	0.029	0.00005	0.186	0.037	0.0012	0.051	0.0083

¹ Cam-plastomer

² Drop hammer

³ Lever arm coefficient

^۴ Steckel mill = دستگاه نورد سرد چهار غلطکی که در آن، نیرو به قرقره ای وارد شده که ورق یا نوار ورق را به درون غلتک های غیرمحرک می کشد.

⁵ Trace

جدول ۳- دمای حلالیت رسوبات.

LC HSLA			MC HSLA		
Precipitates	°C	°F	Precipitates	°C	°F
[Al][N]	1,242	2,267	[Cb][N]	1,246	2,275
[B][N]	1,208	2,207	[Cb][C]	1,229	2,245
[Cb][N]	1,158	2,117	[V][C]	1,184	2,163
[Cb][C]	1,108	2,027	[Al][N]	1,081	1,978
[V][N]	1,007	1,845	[V][N]	954	1,750
[Ti][N]	843	1,549	[Ti][N]	890	1,633
[V][C]	804	1,480	[Ti][C]	811	1,492
[Ti][C]	792	1,457	[B][N]	742	1,368

آستنیت و دماهای شروع و توقف فریت برای ضخامت ۰/۵ اینچ در جدول ۴ محاسبه شده اند.

از جدول ۴، دماهای عدم تبلور مجدد هر دو گرید بسیار نزدیک به یکدیگر می باشند. تفاوت دمای سینتیک شروع و توقف تغییر فاز فریت دو گرید قابل توجه است. به طور کلی، دماهای نورد کنترل شده فولاد LC HSLA بالاتر از فولاد MC HSLA می باشند.

مقایسه پارامترهای نوردکاری

اعتبارسنجی پارامترهای نوردکاری در ارزیابی امکانسنجی نورد کنترل شده بسیار مهم است. در تولید، نیرو و گشتاور غلتک قابل اندازه گیری هستند. از آنجا که خط نورد توانایی ردیابی کاهش سطح مقطع، سرعت و دمای هر کالیبر را دارد، تنش سیلان واقعی هر کالیبر را می توان از معادلات ۱۰-۱۳ استنتاج کرد.

شیوه گرم کردن مجدد یکسان، برنامه نوردکاری مشابه با ۱۳ کالیبر برای نورد اسلب های با ضخامت ۱۵/۲۵ اینچ به صفحه

در جدول ۳، ردیف های مشخص شده با خط قرمز در محدوده دمای کالیبرهای نهائی قرار می گیرند. شگفت انگیز اینکه کاربیدهای وانادیم در فولادهای LC HSLA در زیر ۸۰۴°C و در فولادهای MC HSLA در زیر ۱۱۸۴°C شروع به رسوب کردن می کنند. مفهومی این است که وانادیم در فولادهای LC HSLA بسیار زودتر از فولادهای MC HSLA بر تنش سیلان تأثیر می گذارد. برای هر دو گرید، رسوبات عنصر میکروآلیاژی نیویوم دمای حلالیت بالاتری از رسوبات وانادیم دارند. بنابراین، درصد وزنی نیویوم به طور قابل توجهی بر تنش سیلان تأثیر می گذارد.

دمای شروع و توقف سینتیک تغییر فاز فریت دو پارامتر مهم برای مشخص کردن دماهای نورد نهائی و خنک کاری هستند. دمای شروع سینتیک تغییر فاز فریت متناسب با ضخامت صفحه ورق است. لازم به ذکر است که دماهای محاسباتی ممکن است فراتر از قابلیت کنترل شکل و کلاف کردن خط نورد باشند. در تنظیمات دمای نورد نهائی و کلاف کردن باید این عوامل در نظر گرفته شوند. از معادلات ۲-۴، دمای عدم تبلور مجدد

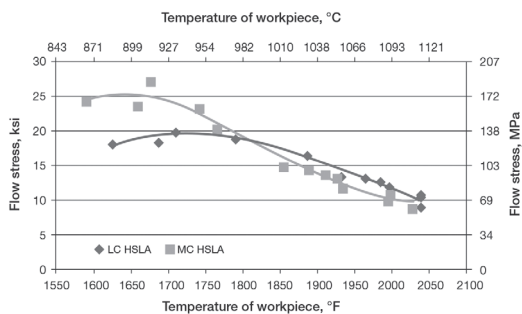
جدول ۴- دمای عدم تبلور مجدد آستنیتی و دمای شروع و توقف فریتی.

	LC HSLA		MC HSLA	
	°C	°F	°C	°F
T_{nr}	1,067	1,953	1,064	1,947
T_{Ar3}	767	1,412	753	1,388
T_{Ar1}	508	946	497	926

جدول ۵- اعداد ثابت بدست آمده از رگرسیون برای تنش سیلان از نیروی غلتک واقعی.

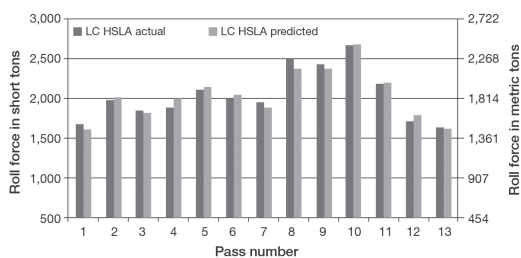
Constant	A_0	m_1	m_2	m_3
LC HSLA	3,510.7	0.00277	0.452701	0.135435
MC HSLA	32,824.3	0.00479	0.433696	0.025216

یک نمودار ترسیم شده اند. از شکل ۴، قله تنش سیلان فولاد LC HSLA بسیار کمتر از مورد مشابه در فولاد MC HSLA است. اما، فولاد LC HSLA بسیار زودتر از فولاد MC HSLA وارد منطقه عدم تبلور مجدد می شود. شکی نیست که فولاد MC HSLA بسیار دشوارتر از فولاد LC HSLA نورد می شود.

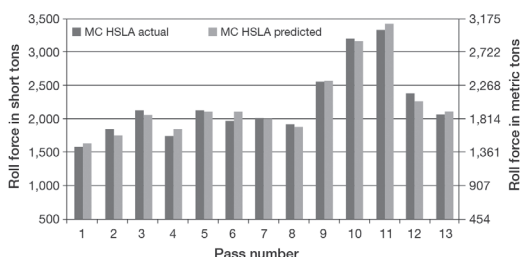


شکل ۴. مقایسه تنش های سیلان فولادهای LC HSLA و MC HSLA.

برای شناخت دقت نیرو و گشتاور غلتک، مقایسه نیرو و گشتاور غلتک واقعی و پیش بینی شده ضروری است. دلیلش این است که فرضیات بسیاری در مورد معادله ۱۴ و برقراری رگرسیون ها در مدل های نیروی غلتک و گشتاور وجود دارد. با استفاده از اعداد ثابت در جدول ۵، تنش سیلان از معادله ۵ بدست می آید. نیرو و گشتاور غلتک را می توان برای هر کالیبر از معادلات ۱۰ و ۱۶ محاسبه کرد. نیروها و گشتاورهای غلتک واقعی و پیش بینی شده در شکل های ۵ تا ۸ نشان داده اند.



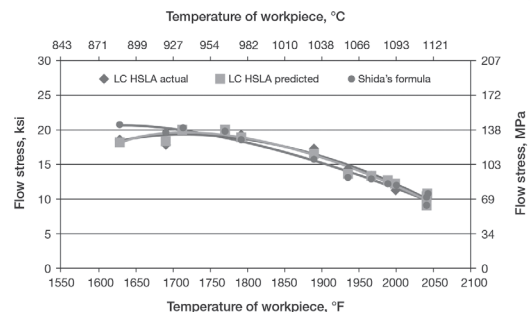
شکل ۵. نیروی غلتک فولاد LC HSLA.



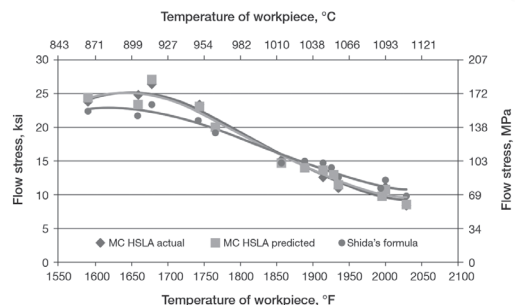
شکل ۶. نیروی غلتک فولاد MC HSLA.

ورق های با ضخامت ۰/۵ اینچ برای هر دو گرید HSLA کم و متوسط کربن به کار می رود. بر اساس تنش سیلان واقعی که از نیروی غلتک بدست می آید، اعداد ثابت در معادله پایه ای شماره ۵ را می توان از طریق یک بسته نرم افزار آماری، Axum، به طرق رگرسیون بدست آورد. نتایج بدست آمده از رگرسیون در جدول ۵ نشان داده شده است. واحدهای تنش سیلان و دمای مورد استفاده در رگرسیون به ترتیب بر حسب MPa و °C می باشند. با بررسی اعداد ثابت، فولاد LC HSLA به سرعت کرنش حساستر از فولاد MC HSLA است. فولاد MC HSLA بیشتر از فولاد LC HSLA به دما واکنش نشان می دهد.

مقایسه تنش های سیلان واقعی و پیش بینی شده مدل Shida برای فولادهای LC HSLA و MC HSLA جالب است. وابستگی به دمای تنش سیلان در شکل های ۲ و ۳ ترسیم شده است. از این شکل ها قابل مشاهده است که هر سه منحنی بسیار نزدیک به یکدیگر هستند. اما، مدل Shida برای فولاد LC HSLA انحراف کوچکی از تنش سیلان واقعی اما انحراف بزرگ از مقدار واقعی برای فولاد MC HSLA نشان می دهد. تنش های سیلان پیش بینی شده و واقعی با هم انطباق دارند.



شکل ۲. مقایسه تنش های سیلان فولاد LC HSLA.



شکل ۳. مقایسه تنش های سیلان فولاد MC HSLA.

برای مقایسه مقاومت در برابر تغییر شکل فولادهای LC HSLA و MC HSLA، تنش های سیلان هر دو گرید در

بحث در مورد دماهای نورد کنترل شده

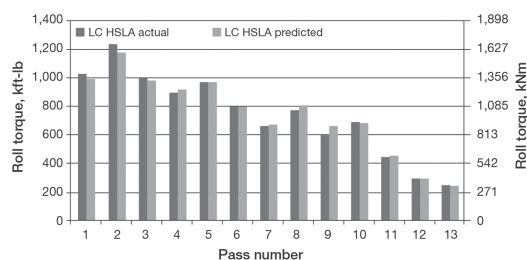
منظور از نورد کنترل شده نگهداری فولاد در یک کاهش سطح مقطع مشخص زیر دمای عدم تبلور مجدد است. این کار آستنیت پهن شده تشکیل می دهد که به فریت ریزتر یا فریت سوزنی پس از خنک کاری سریع تبدیل می شود. دو موضوع باید مورد بحث قرار گیرد: دمای شروع نورد کنترل شده و تعداد کالیبرها یا مقدار کاهش سطح مقطع اتخاذ شده در زیر آن دما.

از جدول ۴، دماهای عدم تبلور مجدد فولادهای LC HSLA و MC HSLA به ترتیب 1067°C و 1064°C می باشند. از شکل ۴، تنش سیلان فولاد MC HSLA تنها افزایش اندکی در محدوده بالای دما را نشان می دهد. مشخص شده است که مدل دمای عدم تبلور مجدد یک مدل زمان-حرارت نیست. اگرچه رسوبات در فولاد MC HSLA زودتر شروع به رسوب کردن می کنند، تراکم آن ها برای تأثیر بر مقاومت در برابر تغییر شکل ناکافی است. به عبارت دیگر، رسوبات بیشتری در محدوده پائین دما ظاهر می شود. از لحاظ نظری، مدل دمای عدم تبلور مجدد نمی تواند منعکس کننده اثربخشی رسوبات در نورد فولاد MC HSLA باشد.

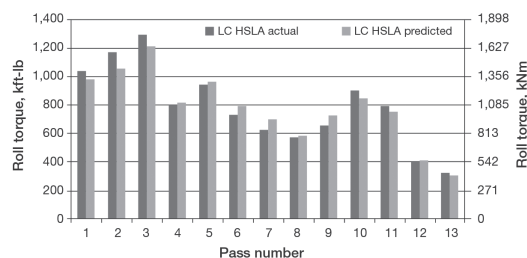
از منحنی های تنش سیلان، تعیین دمای شروع نورد کنترل شده به دلیل رسوب کردن پیوسته در نورد کاری دشوار است. برای تعیین دمای نورد کنترل شده، یک منحنی چند جمله ای توان سوم دما برای انطباق با تنش های سیلان همه دماها مورد استفاده قرار می گیرد. عبارات به دست آمده از رگرسیون تنش های سیلان از شکل ۴ در جدول ۶ نشان داده شده اند.

در مورد عبارات تنش سیلان، دو نقطه بحرانی مهم ریاضی وجود دارد: نقطه عطف و حداکثر موضعی. آشکار کردن مفهوم متالورژیکی آنها جالب است. نقطه عطف وقوع عدم تبلور مجدد در بیشتر ضخامت صفحه ورق است. حداکثر موضعی بروز عدم تبلور مجدد در کل ضخامت است.

دمای شروع نورد کنترل شده فولادهای LC HSLA و



شکل ۷. گشتاور غلتک فولاد LC HSLA.



شکل ۸. گشتاور غلتک فولاد MC HSLA.

از شکل های ۵-۸، می توان دید که نیرو و گشتاور غلتک واقعی و پیش بینی شده برای اکثر کالیبرها با یکدیگر انطباق دارند. اما، تعداد اندکی از کالیبرها تفاوت قابل توجهی را نشان می دهند. بالاترین تفاوت بین نیروها و گشتاورهای غلتک واقعی و پیش بینی شده فولاد MC HSLA به ترتیب $7/02$ درصد و $12/02$ درصد می باشند که ناشی از کشش سطحی، کشش نوار ورق و پوسته زدائی با آب و غیره است. دقت را می توان از طریق تنظیم مدل دمای قطعه کار بهبود داد، زیرا همانطور که قبلاً بیان شد فولاد MC HSLA بیشتر از فولاد LC HSLA به دما واکنش نشان می دهد. بزرگترین تفاوت بین نیروها و گشتاورهای غلتک واقعی و پیش بینی شده فولاد LC HSLA به ترتیب $6/44$ درصد و $9/88$ درصد هستند، که با داده های واقعی مورد فولاد MC HSLA منطبق تر می باشند. با توجه به پیچیدگی در پیش بینی پارامترهای نورد فولادهای HSLA، الگوریتم محاسبه ارائه شده در این مقاله قطعا نیازهای تولید را برآورده می سازد.

جدول ۶- نقاط بحرانی منحنی های تنش سیلان (نقطه عطف و حداکثر موضعی).

	Flow stress	Inflection point		Local maximum	
	MPa (T in $^{\circ}\text{C}$)	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$
LC HSLA	$-10337.8+29.935T-0.0281385T^2+8.667E-06T^3$	1,082	1,980	941	1,726
MC HSLA	$-19348.4+59.727T-0.0603074T^2+2.005E-05T^3$	1,003	1,837	892	1,638

دمای تنش سیلان برای فولادهای MC HSLA سازگار نیست. این تفاوت ناشی از تراکم کم رسوباتی است که برای تأثیر بر مقاومت در برابر تغییر شکل کافی نیست. بیشتر رسوبات در محدوده دمای پایین، کمتر از دمای نقطه عطف ظاهر می شوند. با استفاده از یک روش آماری برای بدست آوردن رگرسیون معادله پایه ای، نیرو و گشتاور غلتک را می توان در تفرانس قابل قبولی پیش بینی کرد. از مدل پیشنهادی می توان برای ارزیابی امکانپذیری نورد کنترل شده یک ترکیب شیمیایی مشخص استفاده کرد.

گرچه مدل پایه ای Shida برای فولاد MC HSLA دقیق نیست، هنوز هم می تواند به صورت مقدماتی برای برآورد پارامترهای نوردکاری و بدون هرگونه داده واقعی مورد استفاده قرار گیرد. انحراف بالقوه باید پیش بینی شود.

از یک منحنی چند جمله ای توان سوم برای انطباق دادن تنش های سیلان برای همه دماها استفاده می شود. دماهای نورد کنترل شده را می توان از نقطه عطف منحنی تعیین کرد. دمای نورد نهائی را می توان با مراجعه به حداکثر موضعی منحنی مشخص کرد. این کار بیشترین ازدیاد طول برای دانه های آستنیتی پهن شده در سراسر ضخامت را تامین خواهد کرد.

نتایج بدست آمده از رگرسیون تنش های سیلان نشان می دهد که فولاد LC HSLA حساسیت بیشتری از فولاد MC HSLA نسبت به سرعت کرنش دارد و همچنین حاکی از این است که فولاد MC HSLA بیشتر از فولاد LC HSLA به دما واکنش نشان می دهد.

در مقایسه گریدهای LC HSLA و MC HSLA، گرید LC HSLA دمای نورد کنترل شده بالاتری از گرید MC HSLA دارد. حداکثر تنش سیلان گرید LC HSLA بسیار کمتر از گرید MC HSLA تحت برنامه نوردکاری و روش گرم کردن یکسان می باشد.

MC HSLA را می توان با استفاده از نقاط عطف تعیین کرد. هنگامی که دمای نورد زیر حداکثر است، تنش سیلان با کاهش دمای نورد اندکی کم می شود. این پدیده ناشی از تبلور مجدد جزئی آستنیت در لایه سطحی به دلیل حرارت اصطکاکی ایجاد شده در گیرش غلتک است. اثر لایه سطحی تبلور مجدد یافته در صفحه ورق نازک آشکار است، زیرا سهم آن در ضخامت بسیار بیشتر از مورد صفحه ورق ضخیم می باشد. برای رسیدن به آستنیت پهن شده در ضخامت، دمای آخرین کالیبر نورد نهائی باید کمتر از حداکثر موضعی باشد.

مطابق با نقاط بحرانی منحنی های مناسب برای تنش سیلان، دمای شروع نورد کنترل شده برای گرید LC HSLA از 1067°C ، تا 1082°C و برای گرید MC HSLA از 1064°C تا 1003°C به طور دقیق تعیین می شود. تغییر قابل ملاحظه ای برای فولاد MC HSLA وجود دارد. دمای نورد نهائی برای گرید LC HSLA از 767°C به 941°C و برای گرید MC HSLA از 753°C به 892°C تغییر می کند. این تعیین دقیق (تنظیمات) به بهبود شکل و بهره وری، و همچنین بازدهی اصلی محصولات نورد کنترل شده کمک می کنند.

نتیجه گیری

با ترکیب مدل نیروی غلتک Shida با معادله پایه ای تجربی، نیرو و گشتاور غلتک را می توان با انحراف قابل قبولی محاسبه کرد. با استفاده از رگرسیون وابستگی به دمای تنش سیلان در منحنی چند جمله ای توان سوم، نقطه عطف و حداکثر تنش سیلان تعیین شده و به صورت متالورژیکی توضیح داده می شوند. از دماهای نقاط بحرانی می توان برای تعیین دماهای نورد کنترل شده با توجه به اندازه منطقی شروع استفاده نموده و با مراجعه به آن دماهای نورد نهائی را مشخص کرد. نتایج تحقیقات این مقاله را می توان به شرح زیر خلاصه کرد: دمای عدم تبلور مجدد از مدل تجربی با منحنی وابستگی به

اخبار انجمن آهن و فولاد ایران

برگزاری سمپوزیوم فولاد ۹۵

بدنبال مذاکرات حضوری ریاست محترم و برخی از اعضای هیأت مدیره انجمن آهن و فولاد ایران در زمان برگزاری سمپوزیم فولاد ۹۴ در کیش با مدیریت شرکت فولاد ناب تبریز تصمیم گرفته شد که سمپوزیوم فولاد ۹۵ با مشارکت فولاد ناب تبریز در شهر تبریز برگزار گردد. انجمن آهن و فولاد ایران برای برگزاری سمپوزیوم فولاد ۹۵ چندین جلسه با مدیران شرکت فولاد ناب در تبریز جهت بررسی امکانات زیربنایی و مسائل اجرایی و بازدید از مکان‌ها برگزار کرده است و بزودی بروشور و پوستر سمپوزیوم به منظور اطلاع رسانی توزیع خواهد شد.

مجمع عمومی فوق‌العاده اتحادیه انجمن‌های مهندسی و علم مواد

اتحادیه انجمن‌های مهندسی و علم مواد در روز چهارشنبه مورخ ۹۵/۴/۲۳ برگزار گردید. در این مجمع بخشی از اساسنامه اتحادیه اصلاح و به تأیید جمع حاضر رسید. همچنین آقای دکتر کشاورز به عنوان نماینده انجمن آهن و فولاد ایران در این مجمع حضور داشتند.

برگزاری نمایشگاه متالورژی، فولاد، ریختگری، معدن و صنایع وابسته در اصفهان

این نمایشگاه به مدت ۴ روز از ۱۲ الی ۱۵ مرداد ماه در محل نمایشگاه‌های دائمی اصفهان برگزار گردید. ۹۳ شرکت با حضور در این نمایشگاه نسبت به معرفی محصولات و توانمندی‌های خود پرداختند. این نمایشگاه بتوسط شرکت نمایشگاه‌های اصفهان و با حمایت انجمن آهن و فولاد ایران در اصفهان تشکیل گردید.



جلسه هیأت مدیره انجمن با نمایندگان

شرکت‌های چین GYMATM, BAO Steel

بدنبال تماس و درخواست تشکیل جلسه شرکت BAO Steel با ریاست محترم هیأت مدیره انجمن آهن و فولاد ایران، آقای دکتر نجفی زاده هماهنگی‌هایی با اعضاء محترم هیأت مدیره انجمن جهت برگزاری این نشست انجام دادند. این جلسه در مورخ ۱۳۹۵/۴/۲۳ در دفتر مدیریت انجمن آهن و فولاد ایران با حضور نمایندگان شرکت‌های GYMATA و BAO Steel از کشور چین و تعدادی از اعضاء هیأت مدیره انجمن آهن و فولاد ایران تشکیل شد. نمایندگان این شرکت تمایل زیادی جهت مشارکت و همکاری با انجمن آهن و فولاد ایران در زمینه نصب و راه‌اندازی خطوط تولید فولاد از جمله نورد گرم و نورد سرد با مشارکت و سرمایه‌گذاران داخلی ابراز نمودند. نمایندگان این شرکت‌ها همچنین ابراز داشتند که شرکت فوق‌الذکر مایل به سرمایه‌گذاری در ایران به صورت مشارکتی می‌باشد بگونه‌ای که تجهیزات خط تولید فولاد توسط این شرکت‌ها تأمین و هزینه‌های مربوطه به خرید زمین، سیویل، ساختمان و ... بعهده شرکت ایرانی باشد. لازم به ذکر است شرکت BAO Steel از مهمترین شرکت‌های تولیدکنندگان فولاد در دنیا است.



اخبار اعضای حقوقی انجمن آهن و فولاد ایران

حاصل خواهد شد.



شرکت فولاد مبارکه اصفهان

تولید ورق رنگی صدفی در ناحیه نورد سرد

روابط عمومی شرکت فولاد مبارکه از تولید ورق رنگی صدفی (multi-color) در خط ورق رنگی خبر داد. رنگهای صدفی، رنگهایی هستند که از زوایای مختلف دارای فامهای مختلف و در نتیجه انعکاس نور مختلف بر اساس زاویه دید می‌باشند. بر اساس همین خاصیت، زیبایی ویژه‌ای دارند و جهت دکوراسیون داخلی و نمای بیرونی ساختمان‌ها استفاده می‌شوند.

تولید نخستین شمش‌های بلوم در فولاد مبارکه

بنا به گزارش روابط عمومی شرکت فولاد مبارکه اصفهان، در پی تکمیل سبد محصولات فولاد مبارکه، برای نخستین بار شمش‌های بلوم در ریخته‌گری فولاد مبارکه تولید شد. مارک ذوبی که برای تولید این شمش‌ها انتخاب شده، گروه ۴ فولاد مبارکه یا همان فولادهای با استحکام بالا می‌باشد که برای نخستین بار، ۵ بلوم ۱۰ متری در واحد ریخته‌گری مداوم فولاد مبارکه تولید شد.

شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

گام‌های مؤثر ذوب آهن در مسیر تعهدات زیست محیطی

بنابر گزارش روابط عمومی شرکت سهامی ذوب آهن، پروژه‌های زیست محیطی مهمی در ذوب آهن در آستانه افتتاح هستند که استفاده از پساب زرین شهر، آب‌گیری از لجن کورتور و نصب غبارگیر کورتور از جمله آنهاست. یکی از مهمترین پروژه‌های زیست محیطی ذوب آهن مربوط به غبارگیر کورتور است

تولید فولاد مخصوص لوله انتقال گاز ترش

به گزارش روابط عمومی شرکت فولاد مبارکه اصفهان، برای اولین بار در کشور، فولاد مخصوص لوله انتقال گاز ترش (API X60) در این شرکت تولید شد. این محصول با گرید داخلی ۵۹۴۶ است و در آینده نزدیک کشور را از واردات این نوع محصول بی‌نیاز خواهد کرد. سیکل تولید این محصول پیچیده بوده و در آن از آخرین تکنولوژی‌های روز دنیا استفاده شده است. عناصر تعیین کننده در این محصول سولفور و هیدروژن می‌باشند که با استفاده از تجهیزات مدرن و دانش فنی موجود میزان این عناصر در فولاد به حداقل مقدار و مطابق با نیاز مشتری کاهش پیدا می‌کند.

راه اندازی سیستم جدید شارژ آلومینیوم در

پاتیل فولادسازی

در فرآیند فولادسازی، بسته به نوع گرید فولاد تولیدی، مواد و افزودنیهای فراوانی در مرحله ذوب و پالایش استفاده می‌شود. یکی از مهمترین موادی که در تمامی ذوب‌های تولیدی فولاد مبارکه استفاده می‌شود، آلومینیوم است که نقش بسزایی در کاهش اکسیژن موجود در ذوب، تنظیم آنالیز شیمیایی و در نتیجه بهبود کیفی فولاد تولیدی ایفا می‌کند، بدین منظور راه اندازی سیستم جدید شارژ آلومینیوم در پاتیل فولاد سازی با موفقیت به مورد اجرا در آمد که با راه اندازی این سیستم سالیانه مبلغ قابل توجهی در تهیه و تأمین آلومینیوم صرفه جویی

که در این پروژه فراتر از استاندارد و تعهد به سازمان به حفاظت از محیط زیست عمل شده است.

آلیاژی ایران به بازار عرضه گردید که نسبت به سال ۹۴ رشد ۵۶ درصدی را تجربه کرده است.

فولاد آلیاژی ایران

فولاد اکسین خوزستان

دستاوردهای شرکت فولاد آلیاژی ایران در چهار ماهه سال ۱۳۹۵

بنا به گزارش روابط عمومی شرکت فولاد آلیاژی ایران دو رکورد متوالی فروش محصولات آلیاژی در شرکت فولاد آلیاژی ایران ثبت شد. برای دومین بار متوالی در سال ۹۵ رکورد فروش محصولات آلیاژی شکسته شد و این بار رکورد قبلی (اردیبهشت ۹۵ تن ۱۹۹۷۱) با افزایش ۲۱۹۰ تنی (معادل ۱۱٪) به ۲۲۱۶۱ تن رسید. صادرات شرکت فولاد آلیاژی ایران نیز با رشد ۲۹۵ درصدی نسبت به سال قبل به بیش از ۲۴ هزار تن رسید. این محصولات در قالب گروه‌های عملیات حرارتی‌پذیر، سخت شونده، کربنی عملیات حرارتی‌پذیر، مهندسی و صنعتی ساختمانی به کشورهای ایتالیا-اسپانیا-بلغارستان-افغانستان-امارات-پاکستان-پرتغال-ترکیه-ترکمنستان-هلند صادر شده است. در سال ۹۵ بیش از ۱۲۲ هزار تن از محصولات شرکت فولاد

صادرات ماهانه حدود ۱۰ هزار تن محصولات فولادی به اروپا

بنابر گزارش روابط عمومی فولاد اکسین خوزستان مدیرعامل این شرکت اظهار داشت که طبق تفاهم نامه‌هایی که با کشورهای اروپایی منعقد شده است، این شرکت ماهانه حدود ۱۰ هزار تن، محصولات خاص خود را به اروپا صادر خواهد کرد. این شرکت از سال ۸۸ تاکنون محصولات خود را به کشورهای آلمان و ایتالیا صادر کرده است و اکنون نیز از کشورهای اسپانیا و انگلستان برای خرید کالا سفارش دارد. شرکت فولاد اکسین برنامه دارد تا هر سال ۴ محصول جدید را به سبد تولیدات خود اضافه کند و در این خصوص سال گذشته ۸ محصول جدید را به سبد تولیدات خود اضافه کرده و با وجود مشکلات فراوان، ۷ درصد نسبت به سال گذشته افزایش تولید داشته است.

سهم تولید فولاد به روش اینتگریتی در جهان به میزان ۷۳ میلیون تن بوده است.

(کتاب مرجع فولاد ۹۴)

آیا می‌دانید؟

اخبار بین الملل



کاهش در مصرف زغال سنگ در چین

چین با کاهش مصرف زغال سنگ خود در حد قابل توجهی به کاهش تولید کربن در جهان کمک کرده است. چین از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ تقریباً ۱/۵۷ میلیارد تن از مصرف زغال سنگ خود را کاهش داده است، که از میزان تولید گازهای گلخانه ای این کشور تا ۳/۶ میلیارد تن کاسته شده و متعهد گردیده که از انرژی سبز برای مقابله با تغییرات اقلیمی استفاده کند. استفاده بیشتر از سوخت های غیر فسیلی عامل مهمی در کاهش آلودگی بوده است.

چین متعهد است که از غلظت یا میزان کربن خود تا سال ۲۰۳۰ در حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد کاسته و قبل از آخرین مهلت (سال ۲۰۳۰) به قعر کاهش انتشار دی اکسید کربن دست یابد. چین که یکی از بزرگترین تولیدکنندگان کربن در جهان است، روش های گوناگون و کوشش های زیادی را برای بازسازی صنعتی، ارتقاء کارآمدی انرژی و کاهش تولید کربن خود انجام داده که تأثیرات قابل ملاحظه ای را در راستای نیل به اقتصادی با کربن کم داشته است.

واردات فولاد معضل بزرگ پاکستان

سال گذشته تولید فولاد و محصولات فولادی در کارخانجات خصوصی فولاد پاکستان ۲۴ درصد افزایش داشت اما این رقم در سال جاری به شش درصد کاهش یافته است. بزرگترین کارخانه تولید فولاد پاکستان که یک شرکت دولتی است، از چند سال پیش به دلیل مشکلات مالی عملاً تعطیل شده است. در شرایط کنونی فقط کارخانه های خصوصی نه چندان بزرگ فولاد در پاکستان فعال هستند که به دلیل هزینه بالای تولید این محصول به ویژه به دلیل کمبود شدید انرژی در پاکستان، نمی توانند به لحاظ قیمت با فولاد وارداتی از چین و اوکراین رقابت کنند. از طرفی هم هزینه تولید در کارخانه های کوچک به مراتب بالاتر از مجتمع های بزرگ است. صاحبان صنایع خصوصی تولید فولاد پاکستان از دولت این کشور خواسته اند تا تعرفه گمرکی فولاد وارداتی از چین را افزایش دهد تا تولید کنندگان داخلی نیز بتوانند محصولات خود را به

تولید کامپوزیت های جدید

مهندسين هوا - فضای دانشگاه MIT راهی برای پیوستگی لایه های کامپوزیتی یافته اند که سبب تولید موادی با استحکام بالا و مقاوم در برابر خسارت در مقایسه با کامپوزیت های پیشرفته دیگر می شود. لایه های این کامپوزیت ها توسط نانو تیوب های کربنی به یکدیگر محکم شده اند.

تولید کامپوزیت سلولار

پژوهشگران دانشگاه هاروارد با استفاده از فناوری پرینت سه بعدی نوعی کامپوزیت سلولار را تولید کردند که رکورد سبک بودن و مقاومت در مقابل تغییر شکل را به خود اختصاص داده است. در تولید این کامپوزیت از رزین اپوکسی استفاده شده است. تجاری شدن این ماده باعث تولید توربین های بادی با کارایی بالاتر، خودروهای سریع تر و هواپیماهای سبک تر می شود.

آلیاژهای جدید آلومینیوم

گروهی از پژوهشگران آمریکایی آلیاژ جدیدی از آلومینیوم ابداع کرده اند که حاوی سریم است. تولید انبوه این آلیاژ که خواص مطلوب تری از آلیاژهای مشابه دارد، بازار مناسبی نیز برای تولید کنندگان سریم است.

روش جدید برای مشخص شدن جزییات ریز ساختار

فلزات پلی کریستال

پژوهشگران دانشگاه MIT روشی ترکیبی ابداع کرده اند که می تواند جزییات ریز ساختار فلزات پلی کریستال را نشان دهد. این روش ترکیبی از تکنیک های میکروسکوپ نوری و پراش الکترون های برگشتی برای اندازه گیری مشخص های مرزهای بین دانه ای کریستالی است که به مشخص شدن خواص کلی ماده کمک می کند.

فروش برسانند.

توسعه و اصلاح چین می گوید: فولادسازان چینی در جهان

دارای توان رقابتی بسیار بالایی هستند و این توان ربطی به یارانه‌های دولتی نداشته بلکه از کارآمدی خود فولادسازان این کشور نشأت می‌گیرد. مقامات این کشور معتقدند که چین در حال حاضر از تجهیزات بسیار کارآمد با مصرف اندک انرژی و بسیار پیشرفته فولادسازی در جهان استفاده می‌کند. این تجهیزات موجب کاهش قابل توجه هزینه‌های تولید و ارتقاء توان رقابتی بنگاه‌ها یا شرکت‌ها گردیده است.

چین صادرات فولاد خود را دامپ نمی‌کند

یک مقام ارشد چینی می‌گوید: فولادسازان چینی محصولات فولادی خود را در بازارهای جهانی دامپ نمی‌کنند و دولت‌ها یا کشورها دیگر نباید به روش‌های حمایت‌گرایانه تجاری از صنعت خود پناه آورند چون این روش نمی‌تواند مشکلات صنعت فولاد جهانی را برطرف نماید. کمیسیون ملی

۵۰ درصد فولاد جهان در ساختمان سازی و زیر ساختارها به مصرف می‌رسد.

(کتاب مرجع فولاد ۹۴)

آیا می‌دانید؟

پیش‌بینی می‌شود، در سال ۲۰۱۹، سهم فرآیندهای کنورتور اکسیژنی و کوره قوس الکتریکی در تولید فولاد خام جهان به ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد باشد.

(کتاب مرجع فولاد ۹۴)

آیا می‌دانید؟

عناوین مقالات مندرج در مجلات بین المللی آهن و فولاد
(در این شماره)

Journal of Iron and Steel Research, International
Volume 23, Issue 7, Pages 633-738, (July 2016)



- **Viscosity and Structure Changes of CaO-SiO₂-Al₂O₃-CaF₂ Melts with Substituting Al₂O₃ for SiO₂**
Guo-hua ZHANG, Yu-lan ZHEN, Kuo-chih CHOU, Pages 633-637
- **Microstructural Evolution and Performance of In-situ Ag-Ni Composite after Solidification under Electromagnetic Stirring and Deformation**
Lin ZHANG, Ke HAN, Tian-nan MAN, En-gang WANG, Xiao-wei ZUO, Pages 638-646
- **Source and Control of Nitrogen for X70 Pipeline Steel**
Min WANG, Yan-ping BAO, Pages 647-654
- **Influences of Technological Parameters on Smelting-separation Process for Metallized Pellets of Vanadium-bearing Titanomagnetite Concentrates**
En-hui WU, Rong ZHU, Shao-li YANG, Ian MA, Jun LI, Jing HOU, Pages 655-660
- **Influence of Mechanical Activation on Acid Leaching Dephosphorization of High-phosphorus Iron Ore Concentrates**
De-qing ZHU, Hao WANG, Jian PAN, Cong-cong YANG, Pages 661-668
- **Curvature and Residual Stress Analysis in Rotational Leveling of Bars**
Yong-qin WANG, Zhi-fang LIU, Hen-gan OU, Yuan-xin LUO, Xing-chun YAN, Pages 669-676
- **Evaluation on Fatigue Performance and Fracture Mechanism of Laser Welded TWIP Steel Joint Based on Evolution of Microstructure and Micromechanical Properties**
Li-li MA, Ying-hui WEI, Li-feng HOU, Chun-li GUO, Pages 677-684
- **Growth Kinetics of Laves Phase and Its Effect on Creep Rupture Behavior in 9Cr Heat Resistant Steel**
Zhi-xin XIA, Chuan-yang WANG, Chen LEI, Yun-ting LAL, Yan-fen ZHAO, Lu ZHANG, Pages 685-691
- **Precipitation Behavior of FeTiP in Ti-added Interstitial Free High Strength Steels**
Juan JIA, Wei-wei ZHU, Xin-li SONG, Ze-xi YUAN, Pages 692-698
- **Microstructure and Wear Properties of Fe-based Amorphous Coatings Deposited by High-velocity Oxygen Fuel Spraying**
Gang WANG, Ping XIAO, Zhong-jia HUANG, Ru-jie HE, Pages 699-704
- **Weldability of 1000 MPa Grade Ultra-low Carbon Bainitic Steel**
Qing-mei JIANG, Xiao-qiang ZHANG, Li-qing CHEN, Pages 705-710
- **Rolling Contact Fatigue Properties of SAE 8620 Steel after Case Carburizing**
Yan-guang CAO, Le XU, Gou-qiang ZHANG, Jie SHI, Mao-qiu WANG, Pages 711-716
- **Effect of 0.5 mass% Cu Addition on Ductility and Magnetic Properties of Fe-6.5 Si Alloy**
Zhao-yang CHENG, Jing LIU, Wen-si CHEN, Jia-chen ZHU, Xi-feng LIN, Zhi-dong XIANG, Pages 717-721
- **Green Approach to Corrosion Inhibition of Mild Steel by Lignin Sulfonate in Acidic Media**
Muna A. ABU-DALO, Nathir A.F. AL-RAWASHDEH, Ahmed A. MUTLAQ, Pages 722-732
- **Effects of γ -irradiation and Deformation Temperature on Tensile Properties of Pb-2 mass% Sb Alloy**
Gh MOHAMMED, S. EI-GAMAL, Pages 733-738

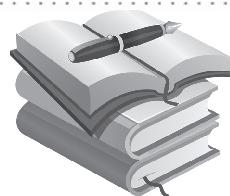
عناوین مقالات مندرج در مجله بین المللی آهن و فولاد ایران
(در این شماره)

International Journal of Iron & Steel Society of Iran
Volume 13, Number 1 (June 2016)



- **Mechanical Properties of Dissimilar Welds between AISI 4130 and GOST09ch16N4B**
A.H. Madadian, H. Najafi, M.A. Safarkhanian, S. Nategh, Pages 1-7
- **Dry Wear Behavior of 42CrMo4 Steel/ZrO₂ Composite Prepared by Pressure-Less Infiltration Method**
H. Sharifi, M. Salehi, T. Dallali Isfahani, H. Rafiei Borujeni, Pages 8-14
- **Neural Network Prediction of Warm Deformation Flow Curves in Ferrite+ Cementite Region**
M. Rakhshkhorshid, H. Rastegari, Pages 15-19
- **The Influence of Hematite on High Speed Continuous Casting of Steel Lubricating Powders: Viscosity and Crystallization**
A. Shafieirad, A. Arefpour, A. Monshi, A. Saidi, Pages 20-26
- **The Effects of Inhomogeneous Mechanical Properties of the Ferrite Phase on Dual Phase Steel's Behavior**
S. Zarei, R. Jafari Nedoushan, Pages 27-38
- **Microstructural Evolution of Roll Bonded Al-Clad Stainless Steel Sheets at Elevated Temperatures**
H. R. Akramifard, H. Mirzadeh, M. Habibi Parsa, Pages 39-45
- **Corrosion Inhibition of API 5L Carbon Steel by Nettle Leaves Hydroalcoholic Extract in a 0.5 M H₂SO₄ Solution**
A. Fattah-alhosseini, B. Hamrahi, Pages 46-50

معرفی کتاب



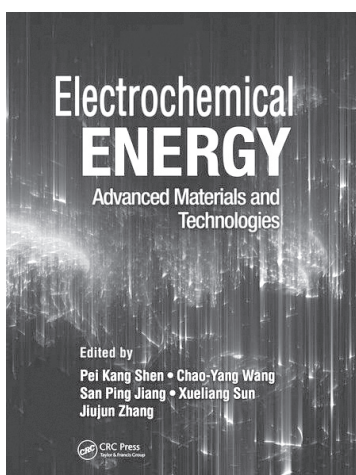
عنوان کتاب: انرژی الکتروشیمیایی؛ مواد و تکنولوژی‌های پیشرفته (ذخیره و تبدیل انرژی الکتروشیمیایی)

عنوان به انگلیسی: Electrochemical Energy: Advanced Materials and Technologies (Electrochemical Energy Storage and Conversion)

نویسنده: Pei Kang Shen, Chao-Yang Wang, San Ping Jiang Xueliang Sun, JiuJun Zhang

سال نشر: ۲۰۱۵

تعداد صفحه: ۶۱۵



معرفی :

کتاب انرژی الکتروشیمیایی؛ مواد و تکنولوژی‌های پیشرفته، توسعه مواد و فناوری‌های پیشرفته برای تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی الکتروشیمیایی را پوشش می‌دهد. این کتاب توسط شرکت کنندگان کنفرانس بین‌المللی مواد و تکنولوژی‌های الکتروشیمیایی برای انرژی پایدار پاک (ICES-۲۰۱۳) که در گوانگژو چین برگزار شد، گردآوری شده است و شامل مقالات ارائه شده منتخب در کنفرانس می‌باشد.

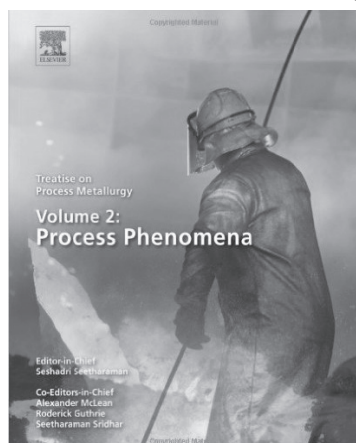
عنوان کتاب: رساله فرآیند متالورژی، جلد دوم؛ پدیده فرآیند

عنوان به انگلیسی: Treatise on Process Metallurgy, Volume 2: Process Phenomena

نویسنده: Seshadri Seetharaman

سال انتشار: ۲۰۱۴

تعداد صفحه: ۸۶۳



معرفی :

”رساله فرآیند متالورژی“ شامل سه جلد است که جلد دوم این کتاب، پدیده فرآیند متالورژی، پدیده پردازش شامل پردازش آهنی، پردازش غیرآهنی و پردازش آبی مقاوم و واکنشی فلزات را فراهم می‌کند. از ویژگی‌های این کتاب می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ترکیب مرتبط‌ترین تحولات معاصر در فرآیند متالورژی، کمک به متالورژیست‌ها برای پیش‌بینی تغییرات و عواقب و ایجاد یا تغییر هر فرآیند گسترش یافته، جایگزین پژوهش‌ها و مقالات موجود با یک راه‌حل کامل منحصر به فرد که منجر به صرفه‌جویی در زمان برای دانشمندان مشغول به کار می‌شود.



بین المللی سمینارهای

No	Title	Location	Date	Organization
1	Secondary Steelmaking Refractories – A Practical Training Seminar	Alabama	10 - 13 Oct 2016	AIST
2	The Making, Shaping and Treating of Steel: 101	Indiana	11 - 13 Oct 2016	AIST
3	Continuous Casting – A Practical Training Seminar	Tennessee	17 - 20 Oct 2016	AIST
4	MS&T16 — The Materials Science & Technology Conference and Exhibition	Utah	24 - 27 Oct 2016	AIST, ASM, TMS

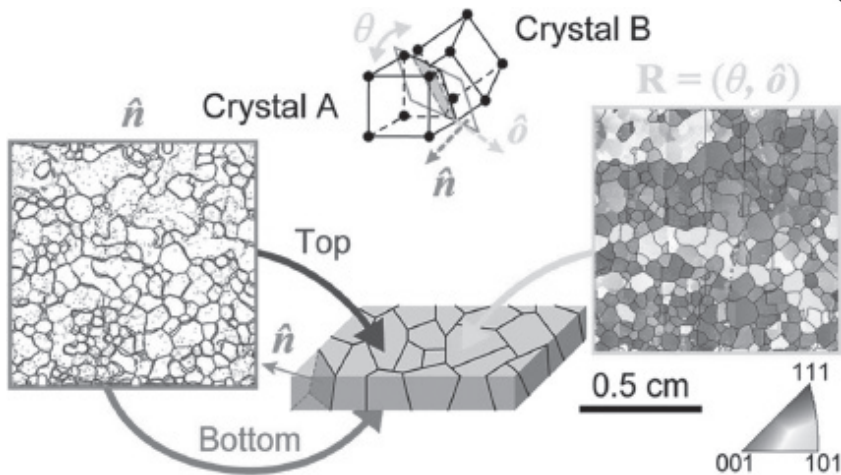


داخلی سمینارهای

پایگاه اینترنتی	زمان	عنوان	ردیف
www.scihub.ir	۳ مهر ماه ۱۳۹۵	دومین کنفرانس سراسری پیشرفت های جدید در مهندسی مکانیک و مواد	۱
www.cmat.ir	۵-۶ مهر ماه ۱۳۹۵	سیزدهمین همایش علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی	۲
http://conf.isc.gov.ir/mevf95/fa	۷-۸ مهر ماه ۱۳۹۵	دومین کنفرانس ملی مکانیک - مواد و فناوری های پیشرفته	۳
www.iranlabco.ir	۲۷-۲۸ مهر ماه ۱۳۹۵	دومین همایش ملی تجهیزات و مواد آزمایشگاهی صنعت نفت ایران	۴
www.conf.isc.gov.ir/nano2016	۲۸-۲۹ مهر ۱۳۹۵	دومین کنفرانس ملی فیزیک نانو و فرا مواد: از شبیه سازی تا صنعت	۵
www.icopmas.pmo.ir	۱۰-۱۲ آبان ۱۳۹۵	دوازدهمین همایش بین المللی سواحل و بنادر و سازه های دریایی	۶
www.imatconf.com	۱۸-۱۹ آبان ماه ۱۳۹۵	دهمین همایش مشترک و پنجمین کنفرانس بین المللی انجمن مهندسی مواد و متالورژی و انجمن علمی ریخته گری ایران	۷
CCFA.iust.ac.ir	۳۰ آذر-۱ دی ماه ۱۳۹۵	پنجمین کنفرانس بین المللی کامپوزیت	۸

تکنولوژی‌های جدید

روشی جدید برای مشخص کردن جزئیات ساختمان کریستالی فلزات



است که چگونه می‌توان مشخصه‌های مواد را در حد عالی بطور کمی بیان نمود؟

برخی از روش‌ها جزئیات زیادی در مورد ساختار مواد ارائه می‌دهند ولی مدت زمان تعیین آن‌ها طولانی است و تغییرات سریع در مواد نیز قابل مشاهده نیست. برخی دیگر از روش‌ها سریع عمل می‌کنند ولی جزئیات کمتری را ارائه می‌دهند، بعضی نیز با وجود ارائه جزئیات بسیار گران و یا در مکان‌های محدود قابل دسترسی هستند. روش جدید که ترکیبی از روش‌هاست این محدودیت را حل کرده است و تصاویری سریع، با کیفیت عالی و قیمت پایین از مواد ارائه می‌دهد. در مواد پلی کریستال که متشکل از تعداد زیادی از دانه‌های کریستالی کوچک هستند، بسیار مهم است که مکان، اندازه و زوایای تماس و دیگر مشخصه‌های دانه‌های مختلف را بدانیم. مرزهای دانه در این مواد بسیار مهم است. پنج مشخصه اصلی در مورد مرزهای دانه وجود دارد که محققان برای اندازه‌گیری آن‌ها تلاش می‌کنند ولی برخی از ابزار به کار گرفته شده تنها دو یا سه مشخصه‌ی آن‌ها را مشخص می‌کنند. یکی از روش‌های پی بردن به تمام مشخصه‌های آن‌ها بصورت یکجا، استفاده از روش تقویت و تسریع ذرات باردار الکترونی انرژی بالا (High-energy Synchrotron Radiation) است که فقط در دستگاه‌های محدودی موجود است و هزینه‌ی بالایی دارد.

این روش مبتنی بر استفاده همزمان میکروسکوپ نوری و پراش الکترونی از الکترون‌های برگشتی (EBSD) و آنالیز تصویر عددی برای اندازه‌گیری مرزهای بین دانه‌های کریستالی است که به تعیین خواص کلی مواد کمک می‌کند. از نقطه نظر EBSD دو فاکتور مهم در مواد پلی کریستال وجود دارد که در آنالیز کردن این مواد کاربرد دارد. نخست اینکه در مواد پلی کریستال، کریستالها در دانه‌های مختلف دارای جهت گیری (Orientation) متفاوت هستند، یعنی اینکه لبه‌های شبکه کریستالی در دانه‌های مختلف دارای جهت گیری متفاوت هستند، در این باره بیشتر توضیح خواهد داده شد، دوم اینکه مواد پلی کریستال شامل مناطقی هستند که دانه‌های مختلف همدیگر را ملاقات می‌کنند، که به این نواحی مرزدانه می‌گویند.

پژوهشگران در دانشگاه MIT این روش را برای تعیین جزئیات در مورد ساختار فلزات پلی کریستالی توسعه داده‌اند. این مواد متشکل از یک زمینه رانوم از کریستال‌های کوچک در مقایسه با تک کریستال بزرگ است که بطور گسترده در صنایع مختلف از جمله رآکتورهای هسته‌ای، زیرساخت‌های عمرانی و هواپیما استفاده می‌شوند. با این حال درک جزئیات ساختار بلوری و مرزهای بین مناطق کریستالی آن‌ها دشوار بوده است. یکی از بزرگترین مشکلات معمول در مهندسی مواد این

نشان می‌دهد. از دیگر مشخصه‌های تصاویر بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌توان به چگونگی ارتباط دانه‌های مجاور هم اشاره کرد. با این تفاسیر پنج ویژگی مربوط به مرزهای دانه در فویل فلزی مشخص شد. حسن این روش توان عملیاتی بالای آن است. در یک نمونه می‌توان بیش از ۵۰۰ مرز دانه مشخص کرد. همچنین این یک روش غیر مخرب است. در این روش می‌توان پی برد که چه نوع از مرز دانه‌ها برای مقاصد کاربردی مناسب است و چگونه می‌توان موادی با آن مرزهای مشخص ایجاد کرد. با دست‌کاری مشخصه‌های این مرز دانه‌ها برای افزایش تعداد آن‌ها یا ایجاد جهت‌های ترجیحی، می‌توان تغییرات اساسی در خواص مواد بوجود آورد. مثلاً می‌توان با این تغییرات نرخ خوردگی فلزات در معرض محیط اطراف را کاهش داد.

اما روش ارائه‌ی شده‌ی کنونی، تکنولوژی ساده‌ای است که توسط هر فردی قابل بکارگیری است و تنها با استفاده از ترکیبی از روش میکروسکوپ نوری و EBSD است. محققان در این روش از فویل فلزی پلی کریستال استفاده کرده‌اند که بسیار نازک بوده بطوریکه که دانه‌های منفرد از هر دو طرف آن قابل مشاهده است. سپس تصاویر میکروسکوپی نوری از هر دو طرف فویل گرفته و از نرم افزاری برای ارتباط دادن مرزهای دانه از یک طرف به طرف دیگر استفاده شده است. بنابراین آن‌ها توانسته‌اند جهت‌یابی سه بعدی این مرزهای دانه را بازسازی کنند. سپس اطلاعات بدست آمده را با تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی ترکیب کرده‌اند. این تصاویر الگوی واقعی اتم‌ها را در درون دانه‌ها توصیف می‌کند. همچنین این تصاویر جهت‌یابی شبکه‌های تک کریستال را در هر دانه

سهم کشور ایران در تولید فولاد خام جهان، ۰/۹۸ درصد است.

(کتاب مرجع فولاد ۹۴)

آیا می‌دانید؟

سازمان ایمن‌دروی ایران در بین شرکت‌های فولاد جهان با تولید ۱۴/۴۲ میلیون تن فولاد خام رده بیست و ششم را کسب کرده است.

(کتاب مرجع فولاد ۹۴)

آیا می‌دانید؟

دانستی های فولاد



ارزیابی تولید محصولات آهن اسفنجی جهان و ایران در سال ۲۰۱۵

تهیه و تنظیم: مهندس محمدحسن جولازاده
مشاور عالی شرکت فولاد ناب تبریز

در دو نقطه کلیدی جهان بعارت دیگر در هند و ونزوئلا افزایش تولید مشاهده می شود. میزان تولید آهن اسفنجی کشور هند به ۱۷,۶۸ میلیون تن افزایش یافته است در حالیکه در سال ۲۰۱۰ میزان تولید آهن اسفنجی این کشور ۲۳,۴ میلیون تن بوده است. ۵۶ درصد تولید آهن اسفنجی هند در کوره های القایی به مصرف می رسد. جدول ۱ نشانگر روند تولید آهن اسفنجی کشور هند می باشد. در کشور ونزوئلا میزان تولید آهن اسفنجی نسبت به سال ۲۰۱۴، ۶۳,۷٪ افزایش پیدا کرده است. در جدول ۲ روند تولید آهن اسفنجی جهان طی سال های ۲۰۰۴ - ۲۰۱۵ دیده می شود. ۴۵,۵٪ معادل ۳۳,۰۴ میلیون تن آهن اسفنجی جهان را کشورهای اسلامی تولید می کنند. در سال قبل ۲ واحد جدید آهن اسفنجی در ایران (شرکت فولاد جهان سیرجان به ظرفیت ۰,۹۶ میلیون تن، مدول اول گل گهر به ظرفیت ۱,۷ میلیون تن) و ۱ واحد در کشور مصر (مدول ۱,۷۶ میلیون تنی شرکت ESISCO) به بهره برداری رسیده است. در حال حاضر ۲ مدول واحد تولید آهن اسفنجی میدرکس به ظرفیت ۳,۸ میلیون تن در سال در کشورهای روسیه (۱,۸ میلیون تن HBI) و امریکا (۲ میلیون تن HBI) در حال احداث می باشد. در سال ۲۰۱۵ در شرکت مصری Ezz Rolling Mills یک مدول آهن اسفنجی بر پایه فرایند انرژ آیرن به ظرفیت ۱,۹ میلیون تن به بهره برداری رسید. هم اکنون ۲ مدول تولید آهن اسفنجی به روش انرژ آیرن جمعاً با ظرفیت ۳,۳ میلیون تن در کشورهای ونزوئلا و هند در حال نصب می باشد. در واقع در چند سال آینده به ظرفیت تولید آهن اسفنجی دنیا بیش از ۲۱ میلیون تن افزوده خواهد شد. میزان تولید تجمعی آهن اسفنجی به روش میدرکس در سال ۲۰۱۵ از مرز ۸۷۱,۳۷ میلیون تن گذشت. فرایند احیا مستقیم میدرکس در سی و پنجمین سال

در سال ۲۰۱۵ میزان تولید محصولات آهن اسفنجی جهان با ۲,۷٪ کاهش تولید به ۷۲,۵۷ میلیون تن رسید. در شکل ۱ انواع محصولات آهن اسفنجی از جمله بریکت گرم، آهن اسفنجی تولید شده از پلت و سنگ آهن تکه ای مشاهده می گردد. این تولید در حالی بدست آمده است که کل ظرفیت تولید آهن اسفنجی دنیا بالغ بر ۹۵ میلیون تن بوده است. در سال ۲۰۱۵ بیشترین رشد تولید آهن اسفنجی در ناحیه کشورهای مشترک المنافع و اروپای شرقی به میزان ۹۰ هزار تن مشاهده شده است. کشور آمریکا با راه اندازی واحد آهن اسفنجی جدید شرکت Nucor به ظرفیت ۲ میلیون تن مجدداً وارد زمره تولید کنندگان آهن اسفنجی جهان شده است. نسبت به سال ۲۰۱۴ در تولید آهن اسفنجی کشور جمهوری اسلامی ایران تغییراتی رخ نداده است. کشور قطر تولید خود را بالا برده است (۲,۷۱ میلیون تن). در کشور عربستان کاهش تولید آهن اسفنجی به چشم می خورد. ناحیه منا (MENA) با تولید ۳۲,۱۴ میلیون تن آهن اسفنجی ۴۴,۳٪ آهن اسفنجی دنیا را بدست آورده است. کشور روسیه با شکستن رکورد جدید تولید، ۵,۴۴ میلیون تن آهن اسفنجی بدست آورده است.



شکل ۱. انواع محصولات آهن اسفنجی.

پایه زغالی با تولید بیش از ۱۴,۶۶ میلیون تن (۲۰,۲٪ کل تولید جهان) در رده دوم قرار دارد. میزان تولید فرایند اچ. وای . ال. انرژآیرن، ۱۱,۶۱ میلیون تن (۱۶٪ کل تولید جهان) گزارش شده است.

جدول ۲. روند تولید آهن اسفنجی جهان.

Year	Production
2004	54.6
2005	56.87
2006	59.7
2007	67.12
2008	67.95
2009	64.33
2010	70.28
2011	73.21
2012	73.14
2013	74.92
2014	74.55
2015	72.57

در سال قبل از ۲۷ مدول آهن اسفنجی نصب شده به روش اچ. وای . ال. انرژآیرن، ۱۷ مدول با ۱۷,۰۴ میلیون تن ظرفیت، در حال بهره‌برداری و ۱۰ مدول باقی مانده (۵,۸۸ میلیون تن ظرفیت) نیز متوقف بوده است. هم اکنون ۲ مدول آهن اسفنجی اچ. وای . ال. انرژآیرن به ظرفیت ۳,۳ میلیون تن در هند (۲,۵ میلیون تن) و ونزوئلا (۰,۸ میلیون تن) در حال احداث می باشد. در شکل ۳ سهم فرایندهای مختلف در تولید آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۱۵ از نظر می گذرد. ضمناً در شکل ۴ سهم روش‌های مختلف در فرایند پایه گازی آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۱۵ نشان داده شده است. کشور جمهوری اسلامی ایران در تولید آهن اسفنجی (۱۴,۶۲ میلیون تن) بر پایه گازی در رده اول جهان قرار دارد. ظرفیت تولید آهن اسفنجی شرکت فولاد گروه مبارکه ۱۱,۳ میلیون تن در سال است. میزان تولید آهن اسفنجی این شرکت در سال ۱۳۹۴ در حدود ۸,۸ میلیون تن گزارش

متوالی با تولید ۴۵,۷۷ میلیون تن (۶۳,۱٪ کل تولید جهان) در رأس فرایندهای اصلی تولید آهن اسفنجی دنیا قرار گرفت. در سال قبل سهم فرایندهای تولید آهن اسفنجی بر پایه گازی و ذغالی به ترتیب ۷۹,۸ و ۲۰,۲٪ بوده است. میزان تولید تجمعی آهن اسفنجی به روش‌های مختلف از سال ۱۹۷۰ تاکنون (۲۰۱۵) بیش از ۱۴۰۹,۷۳ میلیون تن برآورد شده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت تولید آهن اسفنجی جهان از مرز ۲۰۰ میلیون تن بگذرد.

جدول ۱. روند تولید آهن اسفنجی جهان.

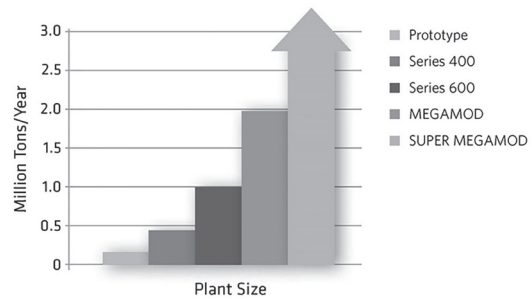
Year	Production
2004	9.37
2005	12.04
2006	14.74
2007	19.06
2008	21.2
2009	22.03
2010	23.43
2011	21.97
2012	20.05
2013	17.77
2014	17.31
2015	17.68

در حال حاضر رشد تولید فرایند میدرکس بسیار بالا بوده و پیش‌بینی می‌شود در سال جاری، ۵۰ میلیون تن آهن اسفنجی دیگر نیز تولید شود. در سال گذشته از ۷۹ مدول نصب شده میدرکس ۶۸ مدول با ۵۴,۵۸ میلیون تن ظرفیت، در حال کار بوده است. هم اکنون ۱۲ مدول آهن اسفنجی میدرکس در کشورهای ایران (۸,۸۵ میلیون تن)، روسیه (۱,۸ میلیون تن)، آمریکا (۲ میلیون تن) و الجزایر (۵ میلیون تن) به ظرفیت ۱۷,۶۵ میلیون تن در حال احداث می‌باشد. در جدول ۳ واحدهای تولید آهن اسفنجی میدرکس در حال احداث از نظر می گذرد. در شکل ۲ نیز روند افزایش ظرفیت تولید مدول‌های میدرکس مشاهده می‌گردد. به دنبال فرآیند میدرکس، فرایند کوره دوار

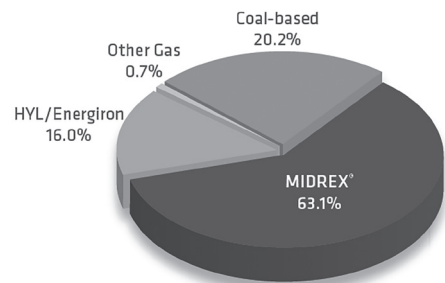
جدول ۳. واحدهای تولید آهن اسفنجی میدرکس در حال احداث.

Plant	Location	Capacity (Mt/y)	Modules	Product	Start-up
Voestalpine Texas	Corpus Christi, Texas, USA	2.00	1	HBI	'16
LGOK III	Gubkin, Russia	1.80	1	HBI	'16
Qaenat	South Khorasan, Iran	0.80	1	CDRI	'16
Sabzevar	Khorasan Razavi, Iran	0.80	1	CDRI	'16
Sepiddasht	Char Mahal and Bakhtiari, Iran	0.80	1	CDRI	'16
Persian Gulf Saba	Bandar Abbas, Iran	1.50	1	HBI	'16
Chador Malu	Ardakan (Yazd), Iran	1.55	1	HDRI	'16
Ardakan Steel	Ardakan (Yazd), Iran	0.80	1	CDRI	'17
Tosyali Algeria	Oran, Algeria	2.50	1	HDRI/CDRI	'17
Algerian Qatari Steel	Bellara, Algeria	2.50	1	HDRI/CDRI	'18
Gol-e-Gohar	Kerman, Iran	1.80	1	CDRI	'18
Sirjan Iranian Co. 2	Kerman, Iran	0.80	1	CDRI	'18
		17.65	12		

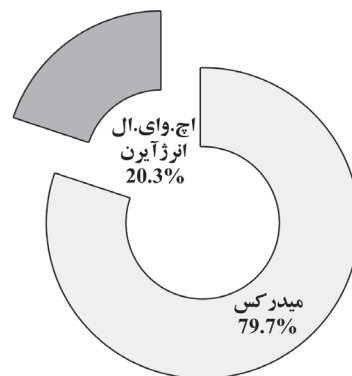
شده است. ظرفیت تولید آهن اسفنجی کشورهای عربی ۲۰,۵۸ میلیون تن به ثبت رسیده است. در سال گذشته میزان تولید آهن اسفنجی کشورهای عربی ۱۷,۴۹ میلیون گزارش شده است. کشور هندوستان با تولید ۱۷,۶۸ میلیون تن در رأس تولید کنندگان آهن اسفنجی جهان قرار گرفته است. شایان ذکر است نزدیک به ۹۵٪ از آهن اسفنجی این کشور در کوره‌های دوار با پایه زغال بدست می‌آید. تولید آهن اسفنجی در کوره‌های دوار با پایه زغال در کشور هند بدلیل کمبود سنگ آهن کاهش پیدا کرده است. در حالیکه ظرفیت نصب شده تولید آهن اسفنجی بر پایه ذغال در جهان ۱۴,۷ میلیون تن است. ظرفیت تولید آهن اسفنجی روش پایه زغال در سال ۲۰۱۰ بالغ بر ۱۸,۱ میلیون تن بوده است. ۲ مدول بزرگ واحد آهن اسفنجی شرکت اسار هند سال گذشته بدلیل کمبود سنگ آهن و قیمت بالای گاز طبیعی، با بهره‌وری پائین کار کرده است. ۴ مدول کوچک دیگر این شرکت بدلیل کمبود گاز طبیعی متوقف بوده است. ایران با ۱۴,۶۲ میلیون تن تولید آهن اسفنجی رده دوم جهان را از آن خود کرده است. میزان تولید آهن اسفنجی کشور ونزوئلا، ۲,۷۵ میلیون بوده است و کشور مذکور در رده هفتم تولید کنندگان آهن اسفنجی جهان قرار گرفته است. در حالیکه میزان تولید آهن اسفنجی این کشور در سال ۲۰۰۵ حدود ۸,۹ میلیون تن بوده است. میزان تولید آهن اسفنجی شرکت OEMK روسیه بیش از ۲,۸ میلیون تن به ثبت شده است. میزان تولید آهن اسفنجی شرکت سیدور ونزوئلا نیز ۱,۳۵ میلیون تن اعلام شده است. مدول شماره 2C این شرکت در طول سال گذشته متوقف بوده است. میزان تولید آهن اسفنجی شرکت Acindar



شکل ۲. روند افزایش ظرفیت تولید مدول های آهن اسفنجی میدرکس.



شکل ۳. سهم فرایندهای مختلف در تولید آهن اسفنجی جهان در سال ۲۰۱۵.



شکل ۴. سهم روش های مختلف در فرایند پایه گازی آهن اسفنجی دنیا در سال ۲۰۱۵.

میلیون تن آهن اسفنجی تولید کرده است. شرکت آرسلور میتال در سطح جهان دارای ۱۶ واحد تولید آهن اسفنجی به ظرفیت تولید ۱۱,۷ میلیون تن می‌باشد. آمریکا در سال گذشته، ۴,۴ میلیون تن آهن اسفنجی جایگزین قراضه در فولادسازی‌ها کرده است. بزرگترین تولید کننده آهن اسفنجی کشور هند، شرکت JSW در واحد Dolvi خویش همراه با گاز طبیعی گاز کک را بعنوان گاز احیا کننده با موفقیت بکار گرفته است. در طول سال گذشته مدول آهن اسفنجی این شرکت با ترکیب گاز کک و گاز طبیعی کار کرده است.

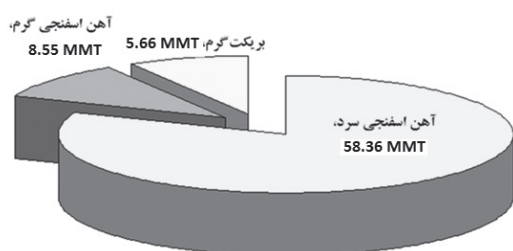
طبق برنامه‌ریزی انجام شده، در آینده نزدیک به ظرفیت تولید آهن اسفنجی ایران ۸,۸۵ میلیون تن افزوده خواهد شد. میزان تولید آهن اسفنجی کشور امارات در سال ۲۰۱۵ حدود ۳,۱۹ میلیون تن بوده است. کشور عمان با تولید ۱,۴۸ میلیون تن آهن اسفنجی برای چهارمین سال متوالی در رده بندی جهان قرار گرفته است. طبق گزارشات حاصله آهن اسفنجی گرم تولیدی عمان از طریق بونکرهای عایق روی کامیون به شرکت‌های هم جوار انتقال و در کوره‌های قوس الکتریکی شارژ می‌شود. کوره قوس الکتریکی شرکت شدید عمان آخر سال ۲۰۱۳ به اتمام رسیده است. میزان تولید آهن اسفنجی کشور بحرین ۱,۲۳ میلیون تن اعلام شده است. میزان تولید آهن اسفنجی کشور قطر نیز در حدود ۲,۷۱ میلیون تن به ثبت رسیده است. هم اکنون در هند بیش از ۳۵۰ کوره دوار احیا بر پایه

کشور آرژانتین بیش از ۰,۸ میلیون تن گزارش شده است. تولید تجمعی آهن اسفنجی این شرکت در ۳۷ سال گذشته ۲۸,۵ میلیون تن برآورد شده است. در سال قبل ۴۸٪ شارژ ورودی کوره های احیا مستقیم ونزوتلا را سنگ آهن تکه ای تشکیل داده است. در سال گذشته ۶۸٪ شارژ ورودی کوره های احیا مستقیم شرکت Saldanha افریقای جنوبی سنگ آهن تکه ای بوده است. میزان تولید آهن اسفنجی شرکت EZDK مصر در سال قبل بالغ بر ۱,۵ میلیون تن گزارش شده است. مدول شماره ۲ میدرکس شرکت قطر استیل که ظرفیت آن ۱,۵ میلیون تن در سال است در سال ۲۰۱۵، ۱,۸۸۷ میلیون تن آهن اسفنجی با درجه فلزی ۹۴,۸٪ تولید کرده است. کشورهای عربستان، و مکزیک روسیه به ترتیب با تولید ۵,۵، ۵,۴۴ و ۵,۸ میلیون تن آهن اسفنجی در رده‌های سوم تا پنجم دنیا قرار گرفته‌اند. در اتحادیه اروپا کشور آلمان و سوئد به ترتیب ۰,۶ و ۰,۱ میلیون تن آهن اسفنجی تولید کرده‌اند. در جدول ۴ میزان تولید آهن اسفنجی کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۵ مشاهده می‌گردد. ایران در بین کشورهای اسلامی و ناحیه خاور میانه و شمال آفریقا (منا، MENA) در تولید آهن اسفنجی در رده اول قرار دارد. در جدول ۵ روند تولید آهن اسفنجی در ایران به نمایش در آمده است. ۵ کشور شاخص (هند، ایران، عربستان سعودی، مکزیک و روسیه) ۶۷,۵٪ کل آهن اسفنجی جهان را تولید می‌کنند. در سال ۲۰۱۵، شرکت آرسلور میتال ۷,۶

جدول ۴. میزان تولید آهن اسفنجی کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۵.

Rank	Country	(MMT)	Rank	Country	(MMT)
1	India	17.68	12	Argentina	1.26
2	★ Iran	14.62	13	S. Africa	1.12
3	S. Arabia	5.8	14	Oman	1.48
4	Mexico	5.5	15	Bahrain	1.23
5	Russia	5.44	16	US	1.1
6	UAE	3.19	17	Malaysia	0.94
7	Venezuela	2.75	18	Germany	0.55
8	Egypt	2.73	19	Libya	0.45
9	Qatar	2.71	20	Sweden	0.1
10	Tri. & Toba.	2.52	21	Peru	0.07
11	Canada	1.5			

میزان صادرات آهن اسفنجی بریکت گرم (HBI) ترینیداد و توباگو بیز ۲,۳ میلیون تن گزارش شده است. میزان صادرات آهن اسفنجی بریکت گرم (HBI) کشور ونزوئلا بیش از ۸۵۰ هزار تن ثبت شده است. میزان واردات آهن اسفنجی و بریکت گرم آمریکا ۱,۹ میلیون تن بوده که بیش از ۹۰٪ آن را از ترینیداد و توباگو وارد کرده است. در شکل ۶ جریان تجارت (صادرات) آهن اسفنجی در سطح جهان از نظر می گذرد. همانطوریکه در نقشه ملاحظه می گردد مقصد صادرات محصولات آهن اسفنجی کشورهای ونزوئلا، روسیه، اروپا، چین و آمریکا می باشد.



شکل ۵. میزان تولید آهن اسفنجی سرد، گرم و بریکت شده در ۲۰۱۵.



شکل ۶. جهت جریان صادرات آهن اسفنجی و بریکت گرم جهان در سال ۲۰۱۵.

ضمناً در شکل ۷ نیز میزان صادرات آهن اسفنجی (از جمله بریکت گرم) از طریق راه های خاکی (۶,۰۴ میلیون تن) و آبی (۷,۲۸ میلیون تن) به مناطق مختلف دنیا، در سال گذشته مشاهده می گردد (جمعاً ۱۳,۳۲ میلیون تن). شایان ذکر است یک سوم آهن اسفنجی تولیدی کشور هند به کارگاه های ذوب فولاد مستقر در ۵-۱۰ کیلومتری واحدهای احیای مستقیم انتقال داده می شود. استفاده از آهن اسفنجی گرم در کوره های قوس الکتریکی در مقایسه با بریکت گرم منجر به کاهش مصرف انرژی برق به میزان ۱۴۰ کیلو وات ساعت برتن فولاد می گردد (بازای هر ۱۰۰ درجه سانتیگراد، ۲۰ کیلو وات ساعت برتن فولاد). ضمناً میزان مصرف الکتروود گرافیتی و نسوز کوره های

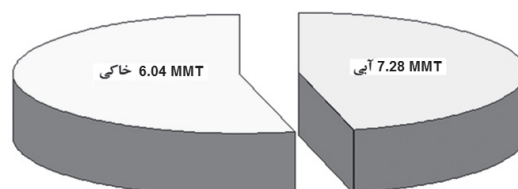
ذغال با ظرفیت تولید ۱۹,۵ میلیون تن آهن اسفنجی در سال در حال بهره برداری می باشد. بطور معمول کوره های دوار (ذغالی) مرسوم دارای ظرفیت تولید ۲۵ تا ۵۰ هزار تن آهن اسفنجی در سال می باشند. بیشتر آهن اسفنجی تولید شده در هند در کوره های القایی به مصرف می رسد. فرایند تولید آهن اسفنجی کشورهای پرو و آفریقای جنوبی نیز بر پایه ذغال است. در شکل ۵ میزان تولید آهن اسفنجی سرد، گرم و بریکت شده در دنیا بطور تفکیکی به نمایش گذاشته شده است. شایان ذکر است در سال قبل ۸,۵۵ میلیون تن آهن اسفنجی گرم در کوره های قوس الکتریکی جهان شارژ شده است. در سال ۲۰۱۵ میزان تولید آهن اسفنجی و بریکت گرم به ترتیب ۵۸,۳۶ و ۵,۲۲ میلیون تن به ثبت رسیده است. در سال ۲۰۱۵ آهن اسفنجی و بریکت گرم به ترتیب به میزان ۸,۳۵ و ۴,۹۷ میلیون تن به نقاط دیگر جهان صادر شده است (جمعاً ۱۳,۳۲ میلیون تن). میزان صادرات آهن اسفنجی جهان از طریق راه های آبی و خاکی به ترتیب ۷,۲۸ و ۶,۰۴ میلیون تن بوده است. بیشترین صادرات آهن اسفنجی بریکت گرم (HBI) توسط کشور روسیه به میزان ۲,۶ میلیون تن صورت گرفته است.

جدول ۵. روند تولید آهن اسفنجی در ایران.

Year	Production
2004	6437
2005	6837
2006	6929
2007	7491
2008	7399
2009	8099
2010	9350
2011	10368
2012	11582
2013	14458
2014	14551
2015	14620

آهن‌دار فولاد سازی‌های ایران بیش از ۷۸,۹٪ است (جدول ۷)، استفاده از فناوری شارژ گرم آهن اسفنجی در کوره‌های قوس الکتریکی، بیش از ۲۵٪ صرفه جویی انرژی برقی را به همراه خواهد داشت. سهم آهن اسفنجی، قراضه فولاد و چدن مذاب در مواد آهن‌دار فولاد سازی‌های جهان به ترتیب ۴,۵، ۳۱,۷۱ و ۳۴,۲۴ درصد می باشد (کل وزن مواد آهن‌دار ورودی ۱۷۸۴ میلیون تن). لذا تنوع مواد آهن‌دار ورودی در فولاد سازی‌های جهان و ایران کاملاً متفاوت است و در نتیجه میزان مصرف انرژی ویژه تولید فولاد در ایران بیشتر از متوسط مصرف انرژی ویژه تولید فولاد در جهان است.

قوس الکتریکی به ترتیب به میزان ۰,۵۵ و ۱,۹ کیلوگرم بر تن فولاد مذاب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر بهره‌وری کوره قوس الکتریکی به میزان ۲۰-۱۵٪ افزایش می‌یابد.



شکل ۷. میزان صادرات آهن اسفنجی از طریق راه‌های آبی و خاکی در سال ۲۰۱۵.

جدول ۶. روند شارژ آهن اسفنجی گرم در کوره‌های قوس الکتریکی جهان.

Year	MMT
2003	1.83
2004	2.43
2005	2.6
2006	2.69
2007	2.99
2008	4.24
2009	4.86
2010	6.47
2011	6.2
2012	5.73
2013	6.25
2014	7.01
2015	8.55

در جدول ۶ روند افزایش شارژ آهن اسفنجی گرم در کوره‌های قوس الکتریکی جهان از نظر می‌گذرد. کشورهای هند، مالزی، عربستان، مکزیک، امارات، عمان، بحرین، پاکستان و مصر از فناوری شارژ گرم آهن اسفنجی در کوره‌های قوس الکتریکی بهره‌مند هستند. بزرگترین مدول آهن اسفنجی جهان با ظرفیت ۱,۷۶ میلیون تن به روش میدرکس در شرکت حدید عربستان در حال بهره‌برداری است. در سال گذشته میزان تولید مدول E شرکت حدید عربستان مجدداً از مرز ۲ میلیون تن فرا رفته است. این دومین بار است که یک مدول به تنهایی ۲ میلیون تن آهن اسفنجی تولید می‌کند. میزان تولید آهن اسفنجی شرکت جیندال عمان ۱,۴۵۸۷ میلیون تن به ثبت رسیده است. اولین واحد شارژ آهن اسفنجی گرم در کوره‌های قوس الکتریکی ایران قرار است در گل‌گهر با ظرفیت ۱,۸ میلیون تن در سال احداث گردد. از طرف دیگر شرکت فولاد اردکان یک واحد آهن اسفنجی با ظرفیت ۱ میلیون تن به روش شارژ گرم آهن اسفنجی در کوره قوس الکتریکی را در حال احداث می‌باشد. با توجه به اینکه سهم آهن اسفنجی در مواد

جدول ۷. سهم آهن اسفنجی در مواد آهن‌دار فولاد سازی‌های ایران در سال ۲۰۱۵.

Iron Bearing Materials	Tonnage (MMT)	%
Hot Metal	2.461	13.3
DRI	14.62	78.9
Scrap	2.071	7.8
Total Metallic's	18.52	100

ردیف	عنوان دوره	نام استاد	مدت
۱۲	روش‌های کنترل و بازرسی خوردگی فلزات در صنعت	دکتر دهکردی	۵ روزه
۱۳	پایش و مانیتورینگ خوردگی	دکتر دهکردی	۳ روزه
۱۴	خوردگی در سیستم‌های آبگرد (کولینگ) و روش‌های جلوگیری از آن	دکتر اشرفی	۲ روزه
۱۵	بررسی مکانیزم تخریب قطعات و تجهیزات صنعتی	دکتر اشرفی	۲ روزه
۱۶	آشنایی با روش‌های آزمایشگاهی و صنعتی تعیین میزان خوردگی	دکتر اشرفی	۲ روزه
۱۷	شناخت و عیب‌یابی ترانسفورمرهای قدرت	دکتر معلم	۳ روز
۱۸	عیب‌یابی و پایش موتورهای الکتریکی	دکتر معلم	۳ روز
۱۹	اصول جایگزینی و انتخاب بهینه موتورهای الکتریکی در صنعت	دکتر معلم	۳ روز
۲۰	دوره تخصصی برق کوره‌های قوس الکتریکی	مهندس کیوانفرد	۴ روز
۲۱	سامانه‌های اتوماسیون	مهندس اتحاد توکل	۳ روز
۲۲	بازرسی و کنترل جوش ۱	مهندس ادب آوازه	۵ روزه
۲۳	بازرسی و کنترل جوش ۲	مهندس ادب آوازه	۵ روزه
۲۴	بازرسی جوش لوله	مهندس ادب آوازه	۳ روزه
۲۵	خوردگی آجرهای نسوز منیزیت کربنی در صنایع فولادسازی و پیشرفت‌های اخیر در کاهش آن	دکتر منشی	۱ روزه
۲۶	ترمودینامیک کوره‌های قوس از جهت رفتار عناصر آلیاژی	دکتر علیزاده	۲ روزه
۲۷	خطا و عدم قطعیت در اندازه‌گیری و محاسبات	دکتر علیزاده	۲ روزه
۲۸	ترمودینامیک و سینتیک پخت گندله‌های مگنتیتی	دکتر علیزاده	۲ روزه
۲۹	آشنایی با ریخته‌گری و نورد فولادهای الکتریکی (Silicon Steel)	دکتر طرقي نژاد	۳ روزه
۳۰	جوشکاری و جوش‌پذیری فولادهای زنگ‌زن	دکتر شمعیان	۲ روزه
۳۱	متالورژی جوشکاری	دکتر شمعیان	۲ روزه
۳۲	موازنه جرم و انرژی در فرآیندهای متالورژیکی	دکتر سعیدی	۱ روزه
۳۳	متدولوژی تحقیق	دکتر سعیدی	۱ روزه
۳۴	شناسایی فولادهای آلیاژی	دکتر رضائیان	۳ روزه
۳۵	انتخاب مواد	دکتر رضائیان	۲ روزه
۳۶	آشنایی با عملیات ترمومکانیکی فلزات (مکانیکی-حرارتی)	دکتر رضائیان	۲ روزه
۳۷	آشنایی با فولاد های پیشرفته (IF، Twip، Trip) و غیره	دکتر رضائیان	۱ الی ۲ روزه
ردیف	عنوان دوره	نام استاد	مدت

۲ روزه	دکتر رضائیان	تغییر شکل شدید فلزات (SPD)	۳۸
۲ روزه	دکتر رضائیان	دوره تخصصی فولادهای HSLA	۳۹
۲ روزه	دکتر دهکردی	شناخت و ارزیابی عیوب ناشی از فرآیندهای ساخت بر طبق استانداردهای بین المللی	۴۰
۲ روزه	دکتر اعلایی	فرآیند ریخته گری مداوم تختال نازک	۴۱
۱ روزه	دکتر اشرفی زاده	پوشش دهی	۴۲
۲ روزه	دکتر اشرفی زاده	تخریب قطعات در صنعت و تحلیل شکست (Failure Analysis)	۴۳
۱ روزه	دکتر اشرفی	خوردگی بویلرهای صنعتی، علل و روش های جلوگیری از خوردگی	۴۴
۲ روزه	دکتر اشرفی	آشنایی با استاندارد چرخنده ها و بررسی علل تخریب چرخنده های صنعتی	۴۵
۱ روزه	دکتر اشرفی	آشنایی با استاندارد چرخنده ها و بررسی علل تخریب چرخنده های صنعتی	۴۶
۱ روزه	دکتر اشرفی	کلید فولاد و انطباق فولادهای استاندارد	۴۷
۱ روزه	دکتر اشرفی	طراحی و انتخاب مواد مقاوم به خوردگی	۴۸
۲-۳ روزه	مهندس نصیر الاسلامی	بازدارنده های خوردگی	۴۹
۲ روزه	مهندس زمانی	آزمون های خوردگی	۵۰
۳ روز	دکتر میرزاییان	سیستم ارتینگ	۵۱
۳ روز	دکتر میرزاییان	شناخت درایوهای AC و DC	۵۲
۱۷ روز	مهندس حاجی صادقیان	آموزش نرم افزار Catia	۵۳
۴ روز	مهندس حسنی	نرم افزار Digsilent	۵۴
۳ روز	مهندس کیوانفرد	فیلترهای هارمونیک	۵۵
۳ روز	مهندس اتحاد توکل	آشنایی با تجهیزات ابزار دقیق و رفع عیب آنها	۵۶
۲ روز	مهندس جولازاده	فرصت های صرفه جویی انرژی در کوره های پیش گرم نورد	۵۷
۲ روز	مهندس جولازاده	تکنولوژی تولید فولادهای آلیاژی در کوره های قوس الکتریکی	۵۸
۲ روز	مهندس جولازاده	تحولات و توسعه در فرایند فولاد سازی کوره قوس الکتریکی	۵۹
۲ روز	مهندس جولازاده	فرآیند فولادسازی در کوره ها	۶۰
۳ روز	مهندس جولازاده	شیوه های ریخته گری	۶۱
۲ روز	مهندس جولازاده	تزریق سوخت های کمکی در کوره بلند	۶۲
۲ روز	مهندس جولازاده	فرصت های صرفه جویی انرژی در کوره های قوس الکتریکی	۶۳
۳ روز	مهندس جولازاده	فرایند تولید کک به روش بازیافت حرارتی	۶۴
۳ روز	مهندس جولازاده	فرایند تولید فولاد به روش کوره قوس الکتریکی	۶۵

انشارات آهن و فولاد

ردیف	عنوان	گردآورنده	تاریخ انتشار	مبلغ (ریال)
۱	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۷۵	دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان	مهر ۱۳۷۵	۲۸۰/۰۰۰
۲	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۷۸	انجمن آهن و فولاد ایران	اردیبهشت ۱۳۷۸	۲۸۰/۰۰۰
۳	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۷۹	انجمن آهن و فولاد ایران	بهمن ۱۳۷۹	۲۸۰/۰۰۰
۴	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۰	انجمن آهن و فولاد ایران	بهمن ۱۳۸۰	۲۸۰/۰۰۰
۵	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۱	انجمن آهن و فولاد ایران	بهمن ۱۳۸۱	موجود برای فروش نیست
۶	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۲	انجمن آهن و فولاد ایران	بهمن ۱۳۸۲	موجود برای فروش نیست
۷	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۳	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۸۳	۳۲۰/۰۰۰
۸	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۴	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۸۴	۳۲۰/۰۰۰
۹	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۵	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۸۵	۳۵۰/۰۰۰
۱۰	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۶	انجمن آهن و فولاد ایران	بهمن ۱۳۸۶	۳۸۰/۰۰۰
۱۱	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۷	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۸۷	۳۸۰/۰۰۰
۱۲	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۸	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۸۸	۳۸۰/۰۰۰
۱۳	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۹	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۸۹	۳۸۰/۰۰۰
۱۴	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۹۰	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۹۰	۳۸۰/۰۰۰
۱۵	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۹۱	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۹۱	۴۳۰/۰۰۰
۱۶	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۹۲	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۹۲	۵۴۰/۰۰۰
۱۷	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۹۳	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۹۳	۶۵۰/۰۰۰
۱۸	مجموعه مقالات سمپوزیوم فولاد ۹۵	انجمن آهن و فولاد ایران	اسفند ۱۳۹۴	۷۰۰/۰۰۰
۱۹	Physical Metallurgy of Steel(2001)	Glyn Meyrick - Robert H. wagoner-wei Gan	زمستان ۸۲	۱۱۰/۰۰۰
۲۰	Introduction to the Economics of Structural Steel Work (2001)	The Southern African Institute of Steel Construction	زمستان ۸۲	۱۱۰/۰۰۰
۲۱	Steels "Microstructure and Properties", Third Edition	H. K. D. H. Bhadeshia and Sir Robert Honeycombe	شهریور ۸۷	۲۲۰/۰۰۰

ردیف	عنوان	گردآورنده	تاریخ انتشار	مبلغ (ریال)
۲۲	Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines, Version 3	International Iron & Steel Institute	شهریور ۸۷	۱۱۰/۰۰۰
۲۳	کتاب فولاد سازی ثانویه	مهندس محمد حسین نشاطی	شهریور ماه ۸۴	۱۶۰/۰۰۰
۲۴	کتاب فرهنگ جامع مواد	مهندس پرویز فرهنگ	شهریور ماه ۸۸	۳۲۰/۰۰۰
۲۵	فصلنامه علمی - خبری پیام فولاد از شماره ۱ لغایت شماره ۵۷	انجمن آهن و فولاد ایران	از پاییز ۹۰ لغایت زمستان ۹۴	۶۰/۰۰۰
۲۶	فصلنامه علمی - خبری پیام فولاد از شماره ۶۲	انجمن آهن و فولاد ایران	از بهار ۹۵	۷۰۰/۰۰۰
۲۷	مجله علمی - پژوهشی بین‌المللی انجمن آهن و فولاد ایران (International Journal of Iron & Steel Society of Iran)	انجمن آهن و فولاد ایران	از پاییز ۸۹ لغایت بهار ۹۵	افراد حقیقی ۱۲۰/۰۰۰ مؤسسات حقوقی ۲۴۰/۰۰۰
۲۸	کتاب راهنمای انتخاب و کاربرد فولاد ابزار	مهندس محمد حسین نشاطی	اسفندماه ۸۸	۱۱۰/۰۰۰
۲۹	کتاب مرجع فولاد	مهندس محمد حسن جولازاده	آذرماه ۸۹	۴۵/۰۰۰
۳۰	کتاب مرجع فولاد ۱۳۹۰	مهندس محمد حسن جولازاده	آذرماه ۹۰	۵۵/۰۰۰
۳۱	کتاب مرجع فولاد ۱۳۹۱	مهندس محمد حسن جولازاده	آذرماه ۹۱	۶۵/۰۰۰
۳۲	کتاب مرجع فولاد ۱۳۹۲	مهندس محمد حسن جولازاده	آذرماه ۹۲	۱۱۰/۰۰۰
۳۳	کتاب مرجع فولاد ۱۳۹۳	مهندس محمد حسن جولازاده	آذرماه ۹۳	۱۶۰/۰۰۰
۳۴	کتاب مرجع فولاد ۱۳۹۴	مهندس محمد حسن جولازاده	آذرماه ۹۴	۲۰۰/۰۰۰

در ضمن هزینه پست سفارشی به مبلغ فوق اضافه خواهد شد. جهت کسب اطلاعات بیشتر با شماره تلفن ۲۴-۳۳۹۳۲۱۲۱ (۰۳۱) دفتر مرکزی

انجمن آهن و فولاد ایران تماس حاصل نمائید.





ISSI

درخواست عضویت حقیقی و حقوقی در انجمن آهن و فولاد ایران

توجه: لطفاً در قسمتهای هاشور زده، جری نویسد و نام و نام خانوادگی و محل کار خود را به لاتین در محل مربوطه بنویسد.

نوع عضویت		کد عضویت	
Name		نام	
Family		نام خانوادگی	
Company		نام محل کار	
		سمت سازمانی	
	تاریخ تولد	کد ملی	
	محل تولد	شماره شناسنامه	
آدرس محل کار			
	صندوق پستی	کد پستی محل کار	
	دورنویس	تلفن محل کار	
آدرس مکاتبه			
	صندوق پستی	کد پستی	
	تلفن همراه	تلفن	
E-mail			
	سال دریافت مدرک	آخرین مدرک تحصیلی	
	کشور/شهر دریافت مدرک	رشته تحصیلی	
		دانشگاه اخذ آخرین مدرک	
	تاریخ انعام عضویت	تاریخ شروع عضویت	
	توضیحات	تعداد سال عضویت	

امضاء:

تاریخ:

مدارک لازم برای عضویت:

- ۱- برگ درخواست عضویت تکمیل شده
- ۲- فتوکپی آخرین مدرک تحصیلی (برای دانشجویان ارائه کپی کارت دانشجویی کافی است.) + دو قطعه عکس ۳×۲.
- ۳- فیش بانکی به مبلغ (برای مؤسسات حقوقی وابسته ۵/۵۰۰/۰۰۰ ریال، برای اعضاء حقیقی ۵۵۰/۰۰۰ ریال، برای دانشجویان ۳۰۰/۰۰۰ ریال) به حساب شماره ۰۲۰۲۸۳۱۶۲۷۰۰۲ بانک ملی ایران شعبه دانشگاه صنعتی اصفهان (کد شعبه ۳۱۸۷) بنام انجمن آهن و فولاد ایران.
- ۴- ارسال فیش واریزی از طریق (فکس: ۰۳۱-۳۳۹۳۲۱۲۴، پست و یا تحویل حضوری)



انجمن آهن و فولاد ایران



انجمن آهن و فولاد ایران با هدف تخصصی تر شدن مجلات علمی و تحقیقاتی در زمینه صنعت آهن و فولاد کشور و به منظور اطلاع رسانی و تقویت هر چه بیشتر پیوندهای متخصصین، اندیشمندان، دانشجویان و پژوهشگران ملی و بین المللی با کسب مجوز از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، مجله علمی- پژوهشی بین المللی را با عنوان:

International Journal of Iron & Steel Society of Iran (Int. J. of ISSI)

منتشر می نماید.

بدینوسیله از کلیه صاحب نظران، اعضاء هیأت علمی دانشگاهها و مراکز پژوهشی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاهها و مؤسسات پژوهشی دعوت می گردد جهت هر چه پر بار شدن این مجله مقالات خود را به زبان انگلیسی بر اساس راهنمای موجود به آدرس زیر ارسال نمایند.

ضمناً مقالات بایستی تحت یکی از عناوین زیر تهیه گردند.

۱- آهن سازی ۲- فولادسازی ۳- ریخته گری و انجماد ۴- اصول، تئوری، مکانیزمها و کینتیک فرآیندهای دمای بالا ۵- آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی فولاد ۶- فرآیندهای شکل دهی و عملیات ترمومکانیکی فولادها ۷- جوشکاری و اتصال فولادها ۸- عملیات سطحی و خوردگی فولادها ۹- تغییر حالتها و ساختارهای میکروسکوپی فولاد ۱۰- خواص مکانیکی فولاد ۱۱- خواص فیزیکی فولاد ۱۲- مواد و فرآیندهای جدید در صنعت فولادسازی ۱۳- صرفه جویی مصرف انرژی در صنعت فولاد ۱۴- اقتصاد فولاد ۱۵- مهندسی محیط زیست صنایع فولاد و ارتباطات اجتماعی ۱۶- نسوزهای مصرفی در صنایع فولاد

آدرس دبیرخانه مجله: اصفهان، بلوار دانشگاه صنعتی اصفهان، شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان، میدان فن آوری (شیخ بهایی)، خیابان ۲، خیابان ۱۵، خیابان ۱۴، خیابان ۱۲، به سمت ساختمان فن آفرینی شماره ۱، ساختمان انجمن

آهن و فولاد ایران، کدپستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

دبیرخانه مجله بین المللی انجمن آهن و فولاد ایران

تلفن: ۰۲۴-۳۳۹۳۲۱۲۱ (۰۳۱)، دورنویس: ۳۳۹۳۲۱۲۴ (۰۳۱)

E-mail: journal@issiran.com

website: journal.issiran.com

GUIDE FOR PREPARATION OF MANUSCRIPT

International Journal of Iron & Steel Society of Iran (IJISSI) is published semiannually by Iron and Steel Society of Iran (ISSI) with collaboration of Isfahan University of Technology (IUT). Original contributions are invited from worldwide ISSI members and non-members.

1. Submission of manuscript: This instruction gives you guidelines for preparing papers for IJISSI. Manuscripts should not be submitted if they have already been published or accepted for publication elsewhere. The full text of the paper including text, references, list of captions, tables, and figures should be submitted online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

2. Category

i) Research paper (maximum of ten printed pages): An original article that presents a significant extension of knowledge or understanding and is written in such a way that qualified workers can replicate the key elements on the basis of the information given.

ii) Review: An article of an extensive survey on one particular subject, in which information already published is compiled, analyzed and discussed. Reviews are normally published by invitation. Proposals of suitable subjects by prospective authors are welcome.

iii) Research note: (maximum of three printed pages): (a) An article on a new finding or interesting aspect of an ongoing study which merits prompt preliminary publication in condensed form, a medium for the presentation of (b) disclosure of new research and techniques, (c) topics, opinions or proposals of interest to the readers and (d) criticisms or additional proofs and interpretations in connection with articles previously published in the society journals.

3. Language: Manuscripts should be written in clear, concise and grammatically correct English so that they are intelligible to the professional reader who is not a specialist in any particular field. Manuscripts that do not conform to these requirements and the following manuscript format may be returned to the author prior to review for correction. The full form of any abbreviation or acronym should be given in the text when the term is first used.

4. Units: Use of SI units is mandatory. Journal style is to use the form $S\ m^{-1}$, $A\ m^{-2}$, $W\ m^{-1}\ K^{-1}$, not S/m , A/m^2 , $W/m.K$.

5. Style of manuscript: It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. The manuscripts should be submitted in double-spaced typing, 12 points Times New Roman font, on consecutively numbered A4 pages of uniform size with 3.0 cm margin on the left and 2.0 cm margins on top, bottom and right. The manuscript must be presented in the order: (1) title page, (2) abstract and key words, (3) text, (4) references, (5) appendices, and (6) list of captions, each of which should start on a new page. All papers should be limited to 20 pages.

Essential title page information

Title: Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

Author names and affiliations: Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name, and, if available, the e-mail address of each author.

Corresponding author: Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address.**

Present/permanent address: If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a "Present address" (or "Permanent address") may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract: An abstract must state briefly and clearly the main object, scope and findings of the work within 250 words. Be sure to define all symbols used in the abstract, and do not cite references in this section.

Keywords: Between three and six keywords should be provided below the Abstract to assist with indexing of the article. These should not duplicate key words from the title.

Subdivision-numbered sections: Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to "the text". Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction: This section should include sufficient background information to set the work in context. The aims of the manuscript should be clearly stated. The introduction should not contain either findings or conclusions.

Materials and methods: This should be concise but provide sufficient detail to allow the work to be repeated by others.

Tables: Tables should be numbered consecutively in accordance with their appearance in the text and referred as, **for example**, 'Table 1'. Tables must not appear in the text but should be prepared on separate sheets. They must have captions and simple column headings. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article. Captions should be 10 pt, and centered. Tables should be self-contained and complement, but not duplicate, information contained in the text.

Figures: All graphs, charts, drawings, diagrams, and photographs are to be referred to as Figures and should be numbered consecutively in the order that they are cited in the text. Figures should be cited in a single sequence throughout the text as 'Fig. 1', 'Fig. 2', Figures must be photographically reproducible. Figure captions must be collected on a separate sheet. Figures are normally reduced in a single column of 84 mm width. All lettering should be legible when reduced to this size.

i) Photographs should be supplied as glossy prints and pasted firmly on a hard sheet. When several photographs are to make up one presentation, they should be arranged without leaving margins in between and separately identified as (a), (b), (c)... Magnification must be indicated by means of an inscribed scale.

ii) Line drawings must be drafted with black ink on white drawing paper. High-quality glossy prints are acceptable.

iii) Color printing can be arranged, if the reviewers judge it necessary for proper presentation. Authors or their institutions must bear the costs.

iv) Axis labels should be of the form: Stress (MPa), Velocity (m s^{-1}).

v) Each figure must be supplied in digital form as a separate, clearly named file. Acceptable

file formats are TIFF and JPEG. Images should be saved at a resolution of at least 600 dpi at final size (dpi=dots or pixels per inch; 600 dpi=240 dots per centimeter). Do not save at the default resolution (72 dpi). Crop any unwanted white space from around the figure before sizing.

Equations: Equations are numbered consecutively, with equation numbers in parentheses flush right. First use the equation editor to create the equation. Be sure that the symbols in your equation are defined before the equation appears, or immediately following. Refer to "Eq. (1)," not "(1)". If what is represented is really more than one equation, the abbreviation "Eqs." can be used.

Results and discussions: Results should be presented in a logical sequence in the text, tables and figures; repetitive presentation of the same data in different forms should be avoided. The results

should contain material appropriate to the discussion.

Conclusions: Although a conclusion may review the main points of the paper, it must not replicate the abstract. A conclusion might elaborate on the importance of the work or suggest applications and extensions. Do not cite references in the conclusion as all points should have been made in the body of the paper. Note that the conclusion section is the last section of the paper to be numbered. The appendix (if present), acknowledgment (if present), and references are listed without numbers.

Acknowledgements: The source of financial grants and other funding must be acknowledged, including a frank declaration of the authors' industrial links and affiliations. Financial and technical assistance may be acknowledged here.

References: References must be numbered consecutively. Reference numbers in the text should be typed as superscripts with a closing parenthesis, for example, ¹⁾, ^{2,3)} and ⁴⁻⁶⁾. List all of the references on a separate page at the end of the text. Include the names of all the authors with the surnames last. Refer to the following examples for the proper format:

i) Journals: Use the standard abbreviations for journal names. Give the volume number, the year of publication and the first page number. **[Example]** M. Kato, S. Mizoguchi and K. Tsuzaki: ISIJ Int., 40(2000), 543.

ii) Conference Proceedings: Give the title of the proceedings, the editor's name if any, the publisher's name, the place of publication, the year of publication and the page number. **[Example]** Y. Chino, K. Iwai and S. Asai: Proc. of 3rd Int. Symp. on Electromagnetic Processing of Materials, ISIJ, Tokyo, (2000), 279.

iii) Books: Give the title, the volume number, the editor's name if any, the publisher's name, the place of publication, the year of publication and the page number. **[Example]** [1] W. C. Leslie: The Physical Metallurgy of Steels, McGraw-Hill, New York, (1981), 621. [2] U. F. Kocks, A. S. Argon and M. F. Ashby: Progress in Materials Science, Vol.19, ed. by B. Chalmers, Pergamon Press, Oxford, (1975), 1.

6. Reviewing: Every manuscript receives reviewing according to established criteria.

7. Revision of manuscript: In case when the original manuscript is returned to the author for revision, the revised manuscript together with a letter explaining the changes made, must be resubmitted within three months.

8. Proofs: The corresponding author will receive the galley proofs of the paper. No new material may be inserted into the proofs. It is essential that the author returns the proofs before a specified deadline to avoid rescheduling of publication in some later issue.

9. Copyright: The submission of a paper implies that, if accepted for publication, copyright is transferred to the Iron and Steel Society of Iran. The society will not refuse any reasonable request for permission to reproduce a part of the journal.

10. Reprint: No page charge is made. Reprints can be obtained at reasonable prices.

Classification

1. Ironmaking
2. Steelmaking
3. Casting and Solidification
4. Fundamentals of High Temperature Processes
5. Chemical and Physical Analysis
6. Forming Processing and Thermomechanical Treatment
7. Welding and Joining
8. Surface Treatment and Corrosion
9. Transformations and Microstructures
10. Mechanical Properties
11. Physical Properties
12. New Materials and Processes
13. Energy
14. Steel Economics
15. Social and Environmental Engineering
16. Refractories

راهنمای اشتراک فصلنامه پیام فولاد

در صورت تمایل به اشتراک فصلنامه پیام فولاد لطفاً نکات زیر را رعایت فرمائید.

- ۱- فرم اشتراک را کامل و خوانا پر کرده و کدپستی و شماره تلفن را حتماً قید فرمائید.
- ۲- مبلغ اشتراک را می‌توانید از کلیه شعب بانک ملی ایران در سراسر کشور به حساب کوتاه مدت سیبا به شماره ۰۲۰۲۸۳۱۶۲۷۰۰۲ بنام انجمن آهن و فولاد ایران در بانک ملی شعبه دانشگاه صنعتی اصفهان (کد ۳۱۸۷) حواله نمائید و اصل فیش بانکی را همراه با فرم تکمیل شده اشتراک به نشانی:
اصفهان، بلوار دانشگاه صنعتی اصفهان، شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان، پارک علم و فناوری شیخ بهایی، ساختمان انجمن آهن و فولاد ایران، کدپستی: ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶ ارسال فرمائید.
- ۳- کپی فیش بانکی را تا زمان دریافت نخستین شماره اشتراک نزد خود نگه دارید.
- ۴- مبلغ اشتراک برای یک سال با هزینه پست و بسته‌بندی ۲۵۰۰۰۰ ریال می‌باشد.
- ۵- در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر با تلفن‌های ۲۴-۳۳۹۳۲۱۲۱ (۰۳۱) تماس حاصل فرمائید.

فرم اشتراک

پیوست فیش بانکی به شماره به مبلغ ریال بابت حق اشتراک یک ساله فصلنامه پیام فولاد ارسال می‌گردد.
خواهشمند است مجله را برای مدت یک سال از شماره به نشانی زیر بفرستید.
قبلاً مشترک بوده‌ام شماره اشتراک قبل مشترک نبوده‌ام

نام نام خانوادگی نام شرکت یا مؤسسه

شغل تحصیلات سن

نشانی: استان شهرستان

خیابان

برای اعضاء انجمن این نشریه بصورت رایگان ارسال می‌گردد.

تعارف آگهی در فصلنامه پیام فولاد

مجله پیام فولاد انجمن آهن و فولاد ایران به صورت فصلنامه بیش از پانزده سال است که افتخار دارد تا به عنوان نشریه علمی - خبری مطالب را به صورت تخصصی در زمینه آهن و فولاد و صنایع وابسته به آن در تیراژ ۱۰۰۰ نسخه و توزیع گسترده و پی در پی به مراکز علمی و تحقیقاتی، صنعتی، تولیدی، کارخانجات، مدیران، اساتید، کارشناسان و دانشجویان و... در اختیار مخاطبان قرار دهد. در همین راستا این فصلنامه می تواند به عنوان ابزاری مناسب، اطلاعات همه جانبه و فراگیری را به خوانندگان خود اختصاص دهد. در جدول زیر تعارف ها با توجه به محل درج آگهی آورده شده است.

ردیف	شرح مورد سفارش	قیمت (ریال)
۱	یک صفحه رنگی پشت جلد مجله	۹/۰۰۰/۰۰۰
۲	یک صفحه رنگی داخل روی جلد مجله (دوم جلد)	۷/۰۰۰/۰۰۰
۳	یک صفحه رنگی داخل پشت جلد مجله (سوم جلد)	۷/۰۰۰/۰۰۰
۴	یک صفحه رنگی داخل مجله	۶/۰۰۰/۰۰۰
۵	یک صفحه سیاه و سفید داخل مجله	۳/۰۰۰/۰۰۰

توضیحات:

- ۱- به اعضاء محترم حقوقی انجمن آهن و فولاد ایران ۱۰٪ تخفیف تعلق می گیرد.
 - ۲- به هر چهار تبلیغ متوالی از یک شرکت که بصورت سالیانه در نشریه چاپ گردد، ۱۰٪ تخفیف تعلق می گیرد.
 - ۳- چنانچه آگهی رنگی نیاز به طراحی داشته باشد مبلغ ۶۰۰/۰۰۰ ریال به هزینه های فوق اضافه خواهد شد.
 - ۴- قطع مجله A₄ می باشد.
- متقاضیان درج آگهی در فصلنامه پیام فولاد، لازم است پس از انتخاب محل درج آگهی (طبق جدول فوق) مبلغ مربوطه را به حساب شماره ۰۲۰۲۸۳۱۶۲۷۰۰۲ بانک ملی ایران شعبه دانشگاه صنعتی اصفهان (کد شعبه ۳۱۸۷) بنام انجمن آهن و فولاد ایران واریز و فیش مربوطه را به پیوست فرم تکمیل شده ذیل به شماره تلفن ۴-۳۳۹۳۲۱۲۱-۰۳۱ فاکس نمایند.
- جهت مشاهده شماره های گذشته مجله و دانلود به آدرس سایت انجمن به نشانی www.issiran.com مراجعه نمایید.

فرم مشخصات متقاضی درج آگهی در فصلنامه پیام فولاد

اینجانب با سمت در شرکت با آگاهی کامل از مفاد متن فوق،
 متقاضی درج آگهی در فصلنامه پیام فولاد با مشخصات ردیف از جدول فوق می باشم و مبلغ مربوطه را با احتساب
 توضیحات شماره های و به مبلغ ریال به حساب
 انجمن آهن و فولاد ایران واریز نموده ام که فیش آن پیوست می باشد.
 امضاء:



شبهه مقاله برای فصلنامه پیام فولاد

- ۵- جداول و نمودارها با سطر بندی و ستون بندی مناسب ترسیم شده و در مورد جداول شماره و شرح آن در بالا و در مورد اشکال در زیر آن درج گردد. واحدهای سیستم بین المللی (SI) برای واحدها در نظر گرفته شود.
 - ۶- تصاویر و عکسها: اصل تصاویر و عکسها باید به ضمیمه مقاله ارسال شود. در مورد مقالات ترجمه شده ارسال اصل مقاله همراه با تصاویر و عکسهای آن ضروری است.
 - ۷- واژهها و پی نوشتها: بالای واژههای متن مقاله شماره گذاری شده و اصل لاتین واژه با همان شماره در واژه نامه ای که در انتهای مقاله تنظیم می گردد درج شود.
 - ۸- منابع و مراجع: در متن مقاله شماره مراجع در داخل کروشه [] آورده شود و با همان ترتیب شماره گذاری شده مرتب گردیده و در انتهای مقاله آورده شوند.
- مراجع فارسی از سمت راست و مراجع لاتین از سمت چپ نوشته شوند.
- در فهرست مراجع درج نام مؤلفان یا مترجمان- عنوان مقاله- نام نشریه- شماره جلد- صفحه و سال انتشار ضروری است.

سایر نکات مهم

- تایپ مقالات صرفاً با نرم افزار Microsoft Word انجام شود.
- از تایپ شماره صفحه خودداری شود.
- مطالب تنها بر یک روی کاغذ A₄ (۲۹۷*۲۱۰ میلی متر) چاپ شود.
- چاپ مقاله توسط چاپگر لیزری انجام شود.
- فصلنامه پیام فولاد در حکم و اصلاح مطالب آزاد است.
- مسئولیت درستی و صحت مطالب- ارقام- نمودارها و عکسها بر عهده نویسندگان/ مترجمان مقاله است.
- فصلنامه پیام فولاد از بازگرداندن مقاله معذور است.

فصلنامه پیام فولاد با هدف انتشار یافته های علمی پژوهشی و آموزشی- کاربردی در جهت ارتقاء سطح دانش فولاد و صنایع وابسته در این زمینه می باشد. لذا برای تحقق این هدف انجمن آهن و فولاد ایران آمادگی خود را جهت انتشار دستاوردهای تحقیقاتی محققان گرامی بصورت مقاله های علمی و فنی در زمینه های مختلف صنایع فولاد اعلام می نماید.

راهنمای تهیه مقاله

- الف) مقالات ارسالی بایستی در زمینه های مختلف صنایع آهن و فولاد باشند.
- ب) مقالات ارسالی بایستی قبلاً در هیچ نشریه یا مجله ای درج شده باشد.
- ج) مقالات می توانند در یکی از بخش های زیر تهیه شوند.

۱- تحقیقی- پژوهشی

۲- مروری

۳- ترجمه

۴- فنی (مطالعات موردی)*

لطفاً مقالات خود را بصورت کامل حداکثر در ۱۰ صفحه A₄ و طبق دستورالعمل زیر تهیه و به همراه سی دی مقاله به دفتر نشریه ارسال فرمایید.

- ۱- عنوان مقاله: مختصر و بیانگر محتوای مقاله باشد.
- ۲- مشخصات نویسنده (مترجم) به ترتیبی که مایلند در نشریه چاپ گردد.
- ۳- چکیده
- ۴- مقدمه، مواد و روش آزمایشها، نتایج و بحث، نتیجه گیری و مراجع

*مقالات موردی می تواند شامل چکیده، نتایج، بحث، جمع بندی و در صورت نیاز مراجع باشد. رعایت سایر موارد ذکر شده فوق در مورد مقالات موردی الزامی است.