

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



ریخته‌گری

ISSN 1028-3897

انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران / سال ۴۱ / شماره ۱۳۱ / پاییز ۱۴۰۱

قابل توجه علاقمندان به چاپ مقاله در فصلنامه تخصصی ریخته‌گری:

علاقمندان به چاپ مقالات در فصلنامه ریخته‌گری، می‌توانند مقالات خود را بر اساس الگوی نگارش مقالات به نشانی irfs.edu@gmail.com ارسال کنند.

قابل توجه علاقمندان به نشریات تخصصی گروه انتشارات انجمن علمی ریخته‌گری ایران:

از کلیه اعضای دانشجویی، حقیقی و حقوقی این انجمن درخواست می‌شود هر گونه تغییر در نشانی، شماره تماس یا شماره دورنگار خود را به روابط عمومی این انجمن اطلاع دهند. بدیهی است در صورت صحیح نبودن نشانی پستی، این انجمن هیچگونه مسئولیتی در قبال ارسال به موقع نشریات به دریافت‌کنندگان نخواهد داشت.

نشانی نشریه: تهران، خیابان بهار شمالی، جنب اداره برق، شماره ۱۷۴، طبقه سوم کدپستی: ۱۵۷۳۶۳۵۸۶۳
تلفن: ۸۸۸۲۷۲۰۲-۸۸۸۲۴۹۲۷-۸۸۸۲۳۴۹۰ دورنگار: ۸۸۸۲۳۴۹۰
website: www.irfs.ir
Email: irfs.edu@gmail.com
Telegram: [irfs1359](https://t.me/irfs1359)

زیر نظر گروه انتشارات مجری طرح: نگارین پرتو (۷۷۵۳۰۳۰۷)
گرافیک و صفحه‌آرایی: شیوا خاتمی زاده چاپ خانه: چاپ علوی تهران

صاحب امتیاز: جامعه ریخته‌گران ایران
مدیر مسئول: دکتر پرویز دوامی
سر دبیر: دکتر جلال حجازی
مدیر اجرایی: دکتر مهرداد عضو امینیان

هیات اجرایی:

مهندس اسدالله اسلامی (فولاد طبرستان)
مهندس عبدالحمید قدیمی (انجمن صنفی ریخته‌گری ایران)
مهندس شیوا خاتمی‌زاده (انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

هیات تحریریه:

دکتر حسین آشوری (دانشگاه صنعتی شریف)
مهندس اسدالله اسلامی (فولاد طبرستان)
دکتر هاشم بنی‌هاشمی (انجمن علمی ریخته‌گری ایران)
دکتر جلال حجازی (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر پرویز دوامی (دانشگاه صنعت شریف)
دکتر مهدی دیواندری (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر سعید شبستری (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر نجم‌الدین عرب (دانشگاه آزاد اسلامی)
دکتر مهرداد عضو امینیان (دانشگاه آزاد اسلامی)
مهندس عبدالحمید قدیمی (انجمن صنفی ریخته‌گری ایران)
دکتر سید محمد حسین میر باقری (دانشگاه امیرکبیر تهران)
مهندس شیوا خاتمی‌زاده (انجمن علمی ریخته‌گری ایران)



ریخته‌گری

انتشارات جامعه ریخته گران ایران/ سال ۴۱ / شماره ۱۳۱ / پاییز ۱۴۰۱

فهرست مطالب:

- ۳.....انواع عملیات حرارتی برای ارتقای چدن های نشکن فریتی با استحکام بالا.....
عبدالحمید قدیمی
- ۱۵.....ارزیابی ترک حرارتی در غلتک کاری دولایه با در نظر گرفتن تنش پسماند عملیات
حرارتی همراه با تنش حرارتی در طول نورد گرم.....
مسعود خاری زاده
- ۲۷.....اخبار ایران و جهان.....
- ۳۴.....آیین نامه ایمنی در صنایع ریخته گری،(قسمت چهارم).....
جامعه ریخته گران ایران
- ۳۶.....پرسش و پاسخ.....
مهرداد عضو امینیان
- ۳۸.....واژه نامه.....
مهرداد عضو امینیان

نشانی نشریه: تهران، خیابان بهار شمالی، جنب اداره برق، شماره ۱۷۴، طبقه سوم
کدپستی: ۱۵۷۳۶۳۵۸۶۳ تلفن: ۸۸۸۲۷۲۰۲-۸۸۸۲۴۹۲۷، دورنگار: ۸۸۸۲۳۴۹۰
لیتوگرافی (نگارین پرتو): ۷۷۵۳۰۳۰۷
Websit:www.irfs.ir Email: irfs.edu@gmail.com Telegram: irfs1359

انواع عملیات حرارتی برای ارتقای چدن های نشکن فریتی با استحکام بالا

عبدالحمید قدیمی^۱

۱-رییس هیئت مدیره انجمن علمی ریخته گری ایران

Heat Treatments to Develop High-strength Ferritic Ductile Iron

Abdolhamid Ghadimi

1-Iranian Foundry men's society

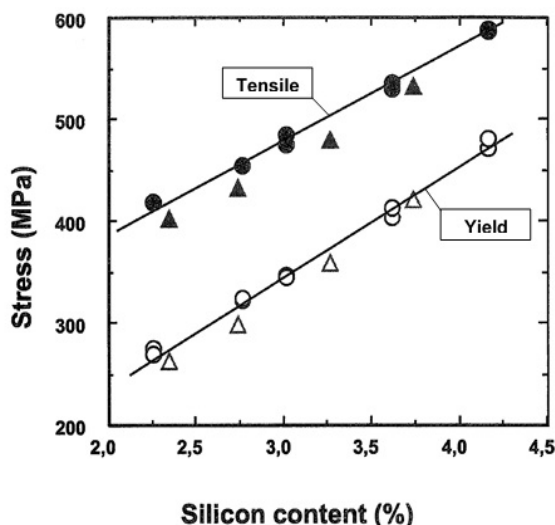
چکیده

تأثیر اندازه دانه بر خصوصیات مکانیکی چدن نشکن فریتی حاوی ۲ و ۳ و ۴ درصد مورد مطالعه قرار گرفت. برای ایجاد ساختاری فریتی با دانه بندی ظریف انواع مختلفی عملیات حرارتی انجام گرفت و سختی و خصوصیات ضربه چارپی تعیین شد. سه آلیاژ در ۳۸۵ درجه ی سانتی گراد آستمپر شده سس برای ایجاد یک ساختار زمینه ۱۰۰ درصد فریتی با دانه های ظریف در ۷۲۳ تا ۵۴۰ درجه ی سانتی گراد آنیل گردیدند. عملیات حرارتی در دامنه بحرانی^۱ برای بوجود آمدن ریزساختار با دانه های ظریف سوزنی انجام شد. نمونه از درجه حرارت در دامنه بحرانی هم در هوا و هم در روغن سرد شده و سپس برای افزایش چقرمگی و فریتی شدن تحت عملیات آنیل قرار گرفتند. همه اقدامات برای ظریف کردن دانه های فریت بوده و استحکام آلیاژهای عملیات حرارتی شده در حد آلیاژ حاوی ۲ و ۴ درصد سیلیسیم^۲ (SSF) رسید. براساس آزمایش ضربه چارپی آلیاژهای ظریف دانه در درجه حرارت های زیر درجه حرارت محیط انعطاف پذیری صفر داشته، درحالی که آلیاژ ۴/۲ درصد سیلیسیم بالای درجه حرارت محیط بود

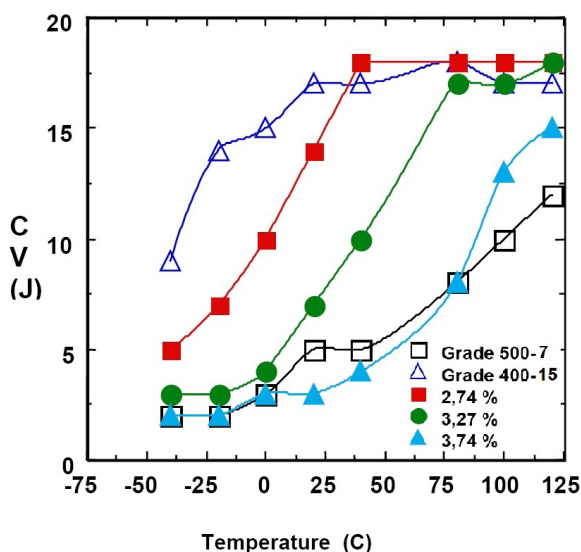
Abstract:

The influence of grain size on the mechanical properties of ferritic ductile iron was investigated. Alloys containing nominally 2%, 3% and 4% silicon were produced for this study. Various heat treatments were employed to produce a fine-grained ferritic structure. Hardness, tensile and Charpy impact properties were determined The three alloys were austempered at 385°C (725°F). The austempered materials were annealed between 540–732°C (1000–1350°F) to produce a fine-grained, 100% ferrite matrix. Intercritical heat treatments were also performed to produce a fine-grained acicular microstructure. Samples were both air-cooled and oil-quenched from the intercritical temperature and subsequently annealed to ferritize the material and enhance toughness

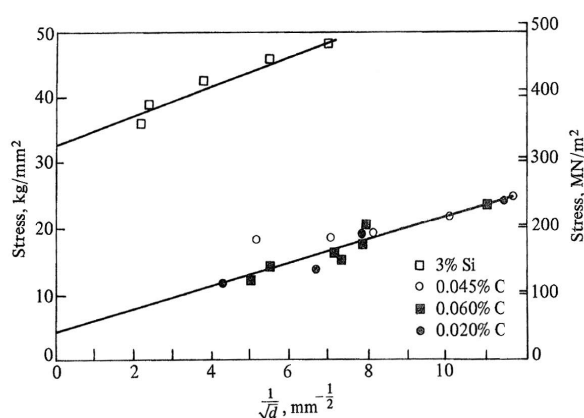
۱. دامنه بحرانی درجه حرارت بین نقاط تحول AC₁ و AC₂ است.



شکل ۱) استحکام با مقدار سیلیسیم افزایش می یابد.



شکل ۲) DBTT با مقدار سیلیسیم افزایش می یابد.



شکل ۳) اثر Hall-Petch که بوسیله ارتباط بین استحکام تسلیم و اندازه دانه، در چدن های مختلف نشان داده شده است.

قطعات ریختگی چدن نشکن با زمینه فریتی* (BBC) در درجه حرارت های پایین انرژی کم داشته و دچار شکست ترد می شوند. در حالی که در درجه حرارت های بالاتر شکست با انرژی بالا و با حالت نرم به وجود می آید. گرید های سنتی چدن نشکن فریتی با مقادیر سیلیسیم پایین تا متوسط در درجه حرارت کمتر از محیط دچار انتقال شکست نرم به ترد می شوند. البته هنگامی که نیاز به استحکام بیشتر است و چدن های نشکن قویتر مورد نیاز می باشد. درجه حرارت انتقال شکست ترد به خوبی به بالای درجه حرارت محیط می رسد. چقرمگی پایین آمده و شکست ترد می تواند ایجاد شود. این پدیده هم برای چدن های پرلیتی و هم فریتی با سیلیسیم و استحکام محلولی بالا (SSF) مطابق استاندارد EN1563 صادق است در نتیجه هنگام شکست ترد فاجعه آمیز می تواند به وجود آید و موجب خطر کاهش عمر قطع گردد، گریدهای فریتی با سیلیسیم به دلیل درجه حرارت پایین انتقال شکست نرم به ترد (DBTT) انتخاب می شود. استحکام چدن نشکن فریتی ابتدا با مقدار سیلیسیم کنترل می گردد. سیلیسیم استحکام را از طریق استحکام دهی محلول جامد مطابق شکل ۱ افزایش می دهد، هر چند که از سوی دیگر موجب افزایش سرعت درجه حرارت (DBTT) می گردد. شکل ۲ به عنوان یک انتخاب جایگزین پیشنهاد گردیده که ریز کردن دانه ها می تواند بدون افزایش (DBTT) باعث ارتقای استحکام چدن نشکن فریتی شود. تاثیر اندازه دانه بر خصوصیات مکانیکی بر اساس تاثیر Hall-Petch قابل قبول است و در شکل ۳ نیز این تاثیر بر استحکام تسلیم برای آلیاژهای مختلف چدنی نشان داده شده است. یک روش برای ظریف دانسته شدن، آنیل کردن چدن نشکن آستمپر شده است و در نتیجه یک ساختار فریتی ظریف بدست آمده است. چنین عملیات حرارتی موجب حاصل به خصوصیات کشش بالایی مشابه چدن نشکن (SSF) مطابق استاندارد ISO-EN1563 می گردد. جدول ۱ تحقیقات اخیر نشان داده شده که ظریف کردن دانه ها می تواند همچنین از طریق عملیات حرارتی در محدود نقطه بحرانی انجام شود. در این مطالعات یک مخلوطی از دانه های ظریف مارتنزیت سوزنی یا پرلیت سوزنی در زمینه فریتی بوسیله حرارت دادن و سرد کردن از درجه حرارتی زیر درجه حرارت بالایی بحرانی (مطابق شکل های ۴a و ۴b) از استحکام و ازدیاد طول نسبی بالا را می توان با این روش بدست آورد. Zinard ساختارها و خصوصیات مکانیکی مشابهی را برای یک چدن IDI با استفاده از یک عملیات حرارتی خاص (تحت امتیاز) گزارش نموده است. فرض بر این است که برگشت دادن (آنیل فریتی) مارتنزیت و پرلیت در ساختارهای سوزنی با دانه بندی ظریف (مطابق شکل های ۴a و ۴b) می تواند بدون بوجود آمدن رشد اضافی دانه ها، در درجه حرارتی پایین دامنه بحرانی

۱.Booly- centered

2.Ductile- to- brittle transition temperature

Sample ID	Yield Strength ksi (MPa)	Tensile Strength ksi (MPa)	Elongation %	Hardness HB3000
Full Anneal	41.3 (285)	61.4 (423)	23.1	143
Subcritical Anneal	45.2 (312)	64.2 (443)	22.6	149
Austemper + Anneal (1200F)	66.0 (455)	90.1 (621)	14.6	201
Austemper + Anneal (1300F)	67.7 (467)	87.7 (605)	14.5	190
EN 1563 SSF Grade 450-18	51 (350) min	64 (440) min	16 min	NS
EN 1563 SSF Grade 500-14	58 (400) min	70 (480) min	12 min	NS
EN 1563 SSF Grade 600-10	65 (450) min	84 (580) min	8 min	NS

بیشتر می نماید. البته با حرارت آنیل بیشتر، انتظار می رود دانه هادرشت شده و در نهایت ریزساختار آستمپر شده تبدیل به فریت پلی گونال گردد به دنبال آن سختی و استحکام و ازدیاد طول نسبی کاهش یابند. برای تحقیق حاضر یه آلیاژ چدن نشکن با مقدار متفاوت سیلیسیم در ۳۸۵ سانتی گراد آستمپر شده و تا درجه حرارت محیط سرد گردیدن. به دنبال آستمپر کردن نمونه ها با قرار دادن در یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی در ۴۰۰ سانتی گراد پایدار شده و سپس با نگهداشتن در ۴۵۴ سانتی گراد به مدت ۵ ساعت فریتی شدند. درجه حرارت کوره با درجه حرارت مختلف آنیل بین ۵۴۰ تا ۷۳۲ سانتی گراد بالا برده شد. هدف ازین اقدام رسیدن به سختی بیت ۱۷۰ تا ۲۱۰ برینل بوده است. این سختی عموماً با سوء استحکام کششی قابل مقایسه گریدهای چدن SSF می باشد. براساس آزمایشات دو درجه آنیل برای هر آلیاژ انتخاب گردید.

۲-۲ - عملیات حرارتی در محدوده بحرانی باضافه آنیل

عملیات حرارتی های مختلف در محدوده بحرانی برای تولید ریزساختارهای ظریف دانه حاوی مارتنزیت سوزنی در فریت و پرلیت سوزنی در فریت انجام گردیده و سپس نمونه ها در درجه حرارت های به اندازه کافی بالا برای تجزیه پرلیت و مارتنزیت بدون بروز درشت دانگی اضافی، تحت تمپر قرار گرفت. آزمایشاتی نیز برای تعیین درجه حرارت بهینه در محدوده بحرانی و درجه حرارت آنیل فریتی کردن برای هر آلیاژ انجام شد و یک نمونه که تحت این روش عملیات حرارتی گردیده مورد ارزیابی قرار گرفت. یک بار دیگر هدف آنیل در درجه حرارت هایی بود که مقادیر سختی ۱۷۰ تا ۲۱۰ برینل برسد.

۳- فرایند آزمایش

آلیاژهای مورد مطالعه در یک کوره القایی فرکانس متوسط ذوب شده، سه ذوب هر یک به وزن ۱۳۶ کیلوگرم تهیه و درون ۱۵ قالب بلوک به شکل Y به ضخامت ۱۵ میلیمتری بارریزی گردید. شارژ شامل شمش آهن خام، برگشتی کارگاهی چدن نشکن، قراضه آهن، فروسیلیسیم، فرومنگنز، و تکه های سیم مسی

بدست آید. بنابراین پیشنهاد شده، میتوان بیش از یک روش عملیات حرارتی برای دستیابی به ریز ساختار ظریف دانه و ارتقای خصوصیات مکانیکی چدن نشکن فریتی به کار برد. به طور خلاصه پیشنهاد شده که آلیاژهای چدن نشکن فریتی با مقادیر سیلیسیم بیشتر از حد متوال می تواند تا حد چدن های SSF استحکام بیابد ولی با چقرمگی بالا و درجه حرارت DBTT پایین تر از نسبت به چدن پرلیتی و SSF. اگر این امر موفقیت آمیز باشد قطعات ریختگی چدن نشکن با دانه بندی ظریف می تواند برای کاربرد قطعات سبک و کاربرد های مشابه که نیاز به استحکام بالا و چقرمگی ضربه بهتر در درجه حرارت محیط دارد به عنوان یک گرید جایگزین استفاده می شود.

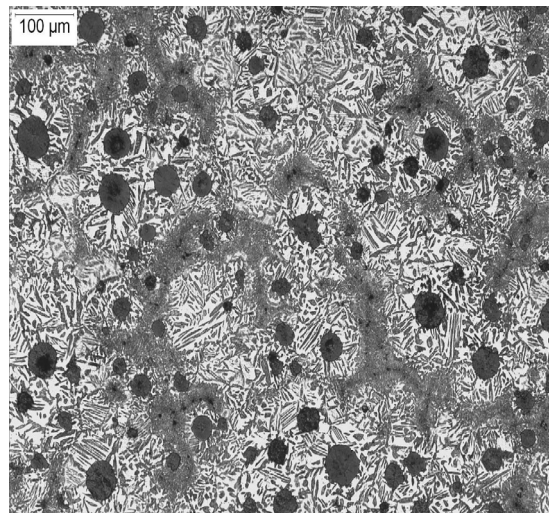
۲- روش آزمایش

تاکنون استحکام چدن های نشکن فریتی بوسیله مقدار سیلیسیم کنترل می گردیده است. مقادیر بالای سیلیسیم در انواع چدن های SSF نه فقط موجب ارتقای استحکام شده بلکه درجه حرارت انتقال شکست نرم به ترد DBTT را نیز افزایش می دهد. به علاوه پرلیت نیز در چدن هایی با استحکام بالاتر موجب بالا رفتن DBTT می گردد. اما ظریف دانه کردن می تواند برای ارتقای استحکام چدن های نشکن فریتی با مقادیر متداول سیلیسیم بدون افزایش DBTT استفاده شود. در تحقیق حاضر قطعات ریختگی چدن نشکن از طریق انواع عملیات حرارتی و به دنبال آن آنیل کردن برای توسعه ریز ساختار فریتی، ظریف داده شده اند. در این تحقیق مقادیر سیلیسیم در محدود ۲ تا ۴ درصد بوده است.

۲-۱- آستمپر باضافه آنیل

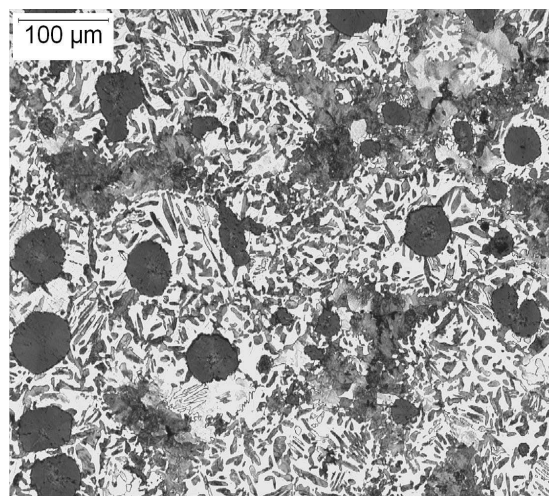
واضح است که آستمپر در درجه حرارت بالای بینیت باعث ایجاد یک ریز ساختار حاوی فریت بینیتی و آستنیت پایدار شده بوسیله کربن خواهد شد. فاز آستنیت نشان داده شده که در درجه حرارت آستمپر با طولانی شدن زمان یا حرارت دادن در درجه حرارت بالاتر ناپایدار می شود. تحقیقات متعددی نیز نشان داده که فاز آستنیت سرانجام به فریت و گرانیت و یا کاربید تجزیه می گردد و حرارت دادن در درجه حرارت ۴۲۷ سانتی گراد یا بیشتر سرعت این تجزیه

بود. ذوب درون یک پاتیل با تاندیش پوشش دار با آلیاژ MgFeSi (Mg ۶/۴ درصد) تلقیح و با فروسیلیسیم حاوی باریوم و پولکی های فولادی جوانه زایی گردید. ترکیب شیمیایی با گرفتن پولکی توسط کوانتومتر تعیین گردید. تمامی عناصر با استفاده از اسکپتومتر نشر نوری (GE-OES) مطابق استاندارد (ISO۱۴۷۰۷:۲۰۰۰E). اولین نسخه (۲۰۰۰-۱۸-۱۵) به جز کربن و گوگرد که به وسیله روش احتراقی با دستگاه LECO مطابق استاندارد (ASTM-E۱۰۱۹-۱۱) تعیین شده، اندازه گیری گردیدن و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. از بلوک های شکل Y ریخته گری شده بوسیله یک اره به نمونه های ی به ارتفاع ۲۵ و طول ۱۸۰ میلیمتر از هر ذوب بریده شد. به جهت دستیابی به ریزساختارهای مورد نظر بلوک های Y شکل تحت عملیات حرارتی با سیکل های مختلف قرار گرفتند.



۳-۱- عملیات حرارتی

در جدول ۳ فهرستی از انواع عملیات حرارتی انجام شده بر روی پای بلوک های Y شکل ارائه شده که شرح آنها بدین صورت بوده است: آنیل: حرارت دادن بالای درجه حرارت بحرانی سپس سرد کردن در کوره، نکته حائز توجه اینکه آلیاژ حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم در زیر درجه حرارت بحرانی و در ۷۸۸ درجه ی سانتی گراد تحت یک عملیات معمول آنیل قرار گرفت. آستمپر: آستمپر کردن در یک کوره اتمسفری و کوئنچ در حمام مذاب با درجه حرارت ۳۸۵ درجه ی سانتی گراد. عملیات حرارتی: در محدوده بحرانی: حرارت دادن در یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی تا درجه حرارت درست زیر درجه حرارت بالای بحرانی، نگهداشتن به مدت ۲ ساعت سپس خنک کردن در کوره یا کوئنچ در روغن و سرد شدن تا درجه حرارت محیط.



شکل ۴) ریزساختارهای ظریف دانه بوجود آمده در اثر الف) کوئنچ (ب) خنک شدن توسط هوا از درجه حرارت پایین تر از درجه حرارت محدوده بحرانی بالایی

۳-۲- آنیل فریتی کردن

نمونه های پای یک بلوک Y شکل عملیات حرارتی شده در دمای محدوده بحرانی و نمونه های آتمپر شده در یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی تحت آنیل قرار گرفتند. نمونه ها تا درجه حرارت های مختلف زیر محدوده بحرانی حرارت داده شده و برای ۴ تا ۸ ساعت نگه داشته شده و سپس به وسیله هوا تا درجه حرارت محیط خنک شوند.

جدول ۲) ترکیب شیمیایی آلیاژ های مورد مطالعه

Element	2% Si Alloy	3% Si Alloy	4% Si Alloy
CE	4.45	4.48	4.67
C	3.80	3.52	3.24
S	0.018	0.009	0.011
P	0.043	0.037	0.033
Si	1.91	2.84	4.25
Mn	0.38	0.27	0.26
Ni	0.21	0.22	0.03
Cu	0.39	0.40	0.10
Cr	0.04	0.05	0.03
Mo	<0.01	<0.01	<0.01
Al	0.008	0.009	0.011
Ti	0.011	0.012	0.013
Sb	<0.005	<0.005	<0.005
Sn	<0.005	<0.005	<0.005
Mg	0.036	0.043	0.037
Ce	0.006	0.005	0.005
LCT	1369	1415	1477
UCT	1484	1564	1695

۳-۳- آزمایشات مکانیکی

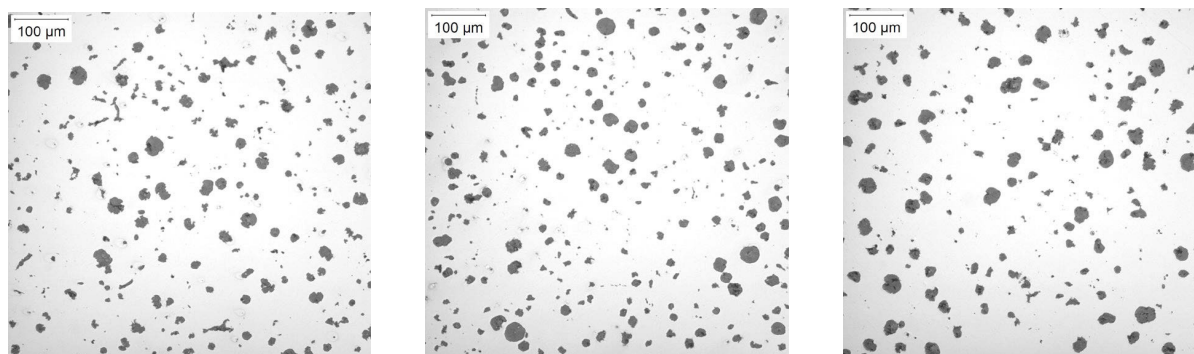
اندازه گیری سختی برینل مطابق استاندارد ASTM-E۱۰ با استفاده از یک ساچمه به قطر ۱۰ میلیمتر از جنس کاربید تنگستن و اعمال بار ۳۰۰۰ کیلوگرم انجام شد. سطح نمونه های پای بلوک های Y شکل بریده شده پس از سنگ زنی و عملیات حرارتی تحت سختی سنجی قرار گرفت. از پای بلوک های Y شکل نمونه استوانه ای مطابق استاندارد ASTM-E۸ با قطر ۱۲/۷ میلیمتر در قسمت کشش و ۵۰/۸ میلیمتر طول ماشینکاری گردید. آزمایش کشش با یک اندازه گیری طول برای تعیین استحکام تسلیم YS (۰/۲٪) و ازدیاد طول

جدول ۳) عوامل عملیات حرارتی به کار رفته برای آلیاژهای مورد مطالعه

Material	Condition	Hardness HBW3000	Austenitizing Temperature	Cooling Condition	Annealing Temperature
1.9% Si Alloy	Annealed	138	1650F (900C)	Furnace Cool	NA
	ADI Low-T	188	1650F (900C)	725F Austemper	1200F (649C)*
	ADI High-T	181	1650F (900C)	725F Austemper	1230F (666C)*
	IC Air-cooled	198	1479F (804C)	Air-cool	1100F (593C)
	IC – Q&T	174	1479F (804C)	Oil Quench	1100F (593C)
2.8% Si Alloy	Annealed	170	1650F (900C)	Furnace Cool	NA
	ADI Low-T	204	1700F (927C)	725F Austemper	1150F (621C)*
	ADI High-T	199	1700F (927C)	725F Austemper	1200F (649C)*
	IC Air-cooled	199	1559F (848C)	Air-cool	1190F (643C)
	IC – Q&T	199	1559F (848C)	Oil Quench	1100F (593C)
4.2% Si Alloy	Annealed	217	1450F (788C)	Furnace Cool	NA
	ADI High-T	224	1750F (955C)	725F Austemper	1230F (666C)*

جدول ۴) خصوصیات مکانیکی آلیاژهای مورد مطالعه

Material	Condition	Hardness HBW3000	0.2% Offset Yield Strength ksi (MPa)	Tensile Strength ksi (MPa)	Elongation %	Reduction of Area, %
1.9% Si Alloy	Annealed	138	39.3 (271)	58.8 (405)	22	21
	ADI Low-T	188	60.0 (413)	89.1 (614)	10	6.9
	ADI High-T	181	53.2 (367)	75.9 (523)	12	10
	IC Air-cooled	198	52.5 (362)	89.3 (616)	10	8.6
	IC – Q&T	174	50.4 (348)	69.0 (476)	15	15
2.8% Si Alloy	Annealed	170	55.2 (381)	72.0 (496)	20	22
	ADI Low-T	204	65.7 (453)	80.0 (552)	9.5	3.6
	ADI High-T	199	67.1 (463)	81.9 (565)	12	9.7
	IC Air-cooled	199	61.2 (422)	85.3 (588)	14	13
	IC – Q&T	199	65.4 (451)	80.2 (553)	8.0	5.9
4.2% Si Alloy	Annealed	217	72.9 (503)	88.9 (613)	16	19
	ADI High-T	224	78.0 (538)	93.5 (645)	11	8.0
Grade 600-10	NS	NS	65 (450)	84 (580)	8	NS



شکل ۵) ساختارهای گرافیت در نمونه های پولیش شده

الف: آلیاژ حاوی ۱/۹ درصد سیلیسیم ب) آلیاژ حاوی ۲/۸ درصد سیلیسیم ج) آلیاژ حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم

Condition	Temperature	Impact Energy	
		Individual	Av.
AN (Annealed)	22C	62.5, 63.1, 79.7	68.4*
	22C	7.6, 8.8, 9.8	8.7
	-25C	6.1, 6.1, 7.5	6.6
	-50C	3.5, 3.7, 3.9	3.7
AD1200 (ADI Low-T)	22C	36.9, 40.8, 47.1	41.6*
	22C	6.3, 6.7, 7.3	6.8
	-25C	3.2, 4.0, 4.5	3.9
	-50C	2.6, 3.2, 3.4	3.1
AD1230 (ADI High-T)	22C	41.4, 42.3, 61.9	48.5*
	22C	7.4, 7.8, 8.2	7.8
	-25C	5.7, 6.0, 6.4	6.0
	-50C	3.9, 4.4, 4.5	4.3
AC1100 (IC-AC)	22C	53.1, 53.8, 54.2	53.7*
	22C	5.6, 5.8, 6.4	5.9
	0C	3.7, 4.0, 4.2	4.0
	-25C	2.7, 3.2, 3.7	3.2
OQ1100 (IC-Q&T)	22C	41.3, 50.2, 52.4	48.0*
	22C	4.8, 5.4, 5.5	5.2
	0C	5.2, 5.4, 5.7	5.4
	-25C	4.9, 5.3, 5.8	5.3

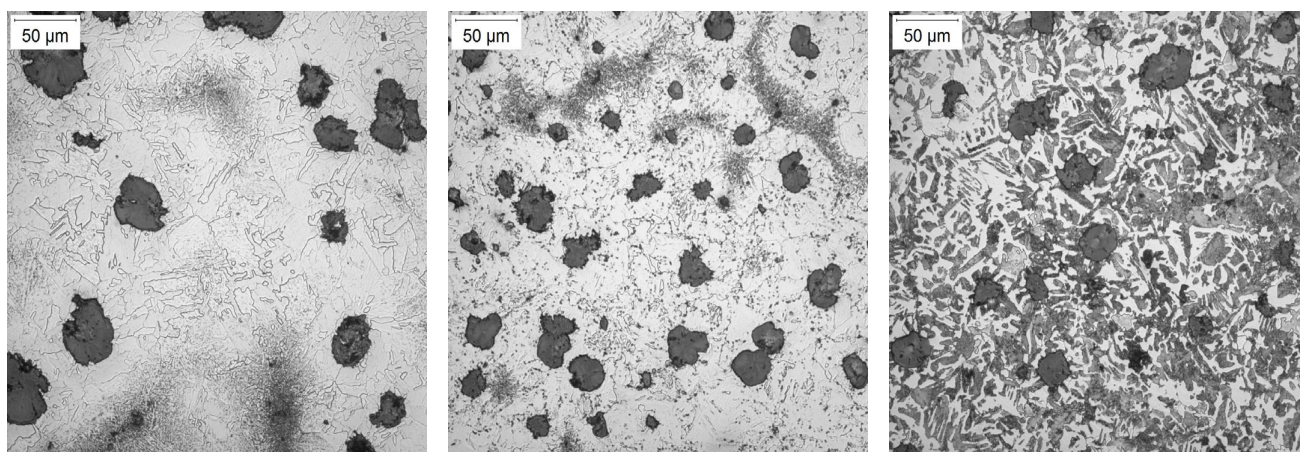
جدول ۵a) خصوصیات مقومت به ضربه الیاز حاوی ۹/۱ درصد سیلسیم

Condition	Temperature	Impact Energy	
		Individual	Av.
AN (Annealed)	22C	44.8, 83.5, 90.2	72.8*
	22C	8.6, 8.8, 8.9	8.8
	0C	7.1, 7.3, 7.4	7.3
	-25C	4.2, 4.7, 4.7	4.5
AD1150 (ADI Low-T)	22C	75.9, 77.3, 81.2	78.1*
	22C	6.8, 6.8, 7.2	6.9
	-25C	3.2, 3.4, 3.7	3.4
	-50C	2.6, 2.8, 3.5	3.0
AD1190 (ADI High-T)	22C	78.6, 78.9, 91.5	83.0*
	22C	5.0, 5.2, 5.3	5.2
	0C	3.2, 3.4, 3.7	3.4
	-25C	2.4, 2.5, 3.0	2.6
AC1100 (IC-AC)	22C	74.3, 79.9, 87.3	80.5*
	22C	3.6, 4.1, 4.2	4.0
	0C	2.9, 3.0, 3.2	3.0
	-25C	1.6, 1.8, 2.0	1.8
OQ1100 (IC-Q&T)	22C	35.1, 43.1, 54.9	44.4*
	22C	3.7, 3.9, 4.4	4.0
	0C	3.3, 3.8, 3.9	3.7
	-25C	2.7, 2.8, 3.1	2.9

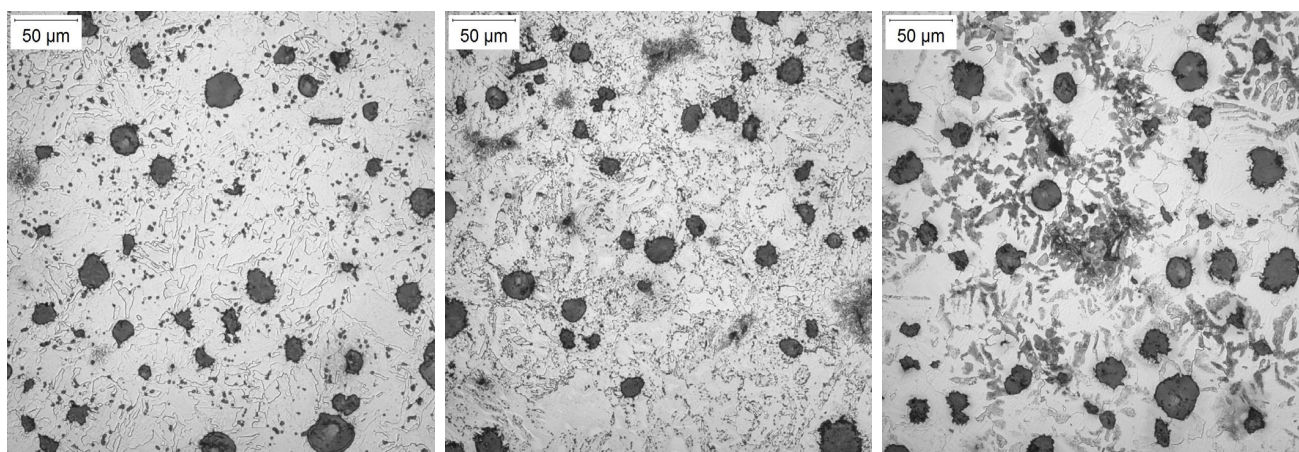
جدول ۵b) خصوصیات مقومت به ضربه الیاز حاوی ۸/۲ درصد سیلسیم

Condition	Temperature	Impact Energy	
		Individual	Av.
AN (Annealed)	22C	47.8, 63.8, 82.6	64.7*
	22C	1.9, 2.2, 2.2	2.1
	75C	3.7, 3.7, 3.7	3.7
	100C	5.0, 5.1, 6.0	5.4
AD1230 (ADI High-T)	22C	16.3, 27.0, 35.4	26.2*
	22C	1.3, 1.4, 1.4	1.4
	100C	2.2, 2.7, 2.7	2.4
	125C	2.4, 3.1, 3.3	2.9

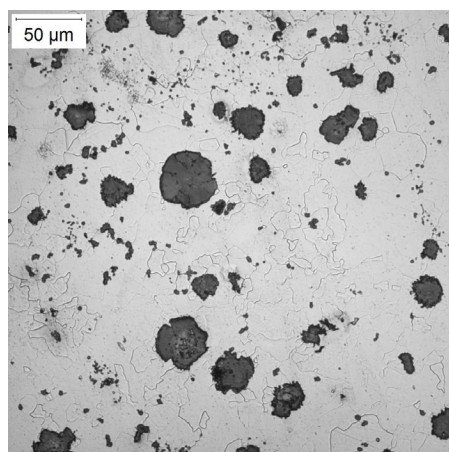
جدول ۵c) خصوصیات مقومت به ضربه الیاز حاوی ۲/۴ درصد سیلسیم



شکل ۶) ریزساختارهای آنیل شده آلیاژ حاوی ۱/۹ درصد سیلیسیم
 الف) آستمپر شده ب) عملیات حرارتی شده در محدوده دماهای بحرانی باضافه کوئچ
 ج) عملیات حرارتی شده در محدوده دماهای بحرانی باضافه در هوا سرد شده



شکل ۷) ریزساختارهای آنیل شده آلیاژ حاوی ۲/۸ درصد سیلیسیم
 الف) آستمپر شده ب) عملیات حرارتی شده در محدوده دماهای بحرانی باضافه کوئچ
 ج) عملیات حرارتی شده در محدوده دماهای بحرانی باضافه در هوا سرد شده



شکل ۸) ریزساختار آنیل شده چدن حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم آستمپر شده

کلی نیز به روش دستی با اندازه گیری نمونه های گسیخته شده انجام شد. نتایج آزمایش کشش در جدول ارائه گردیده است. آزمایش مقاومت به ضربه چارپی با نمونه شکاف دار و بودن شکاف بر روی هر آلیاژ با شرایط مختلف عملیات حرارتی صورت گرفت. آزمایش در درجه حرارت محیط و درجه حرارت های منتخب به منظور تعیین درجه حرارت صفر شدن انعطاف پذیری (چکش خواری) مطابق استاندارد ASTM-E23 انجام و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. نمونه های متالوگرافی نیز از محل گلوگه نمونه های کشش پس از شکست برداشته شد. نمونه ها ابتدا درون باکالیت قالبگیری گردید سپس سمباده زنی و پولیش بوسیله روش های متداول مکانیکی مطابق استاندارد ASTM-E3 انجام و در نهایت سطح نمونه به وسیله محلول حاوی میکروسیلیکا با دانه بندی ۰/۰۵ میکرون پولیش گردید. در شکل ۵ ساختارهای گرافیت در نمونه های پولیش و در شکل ۶ و ۸ ریز ساختار نمونه ها پس از اچ شدن ملاحظه می گردد.

۴- سگالش

هدف اولیه تحقیق مطالعه چدن های نشکن با دانه بندی ظریف (آلیاژهای نشکن با سیلیسیم پایین) برای جایگزینی با چدن های نشکن استحکام بالا SSF که خصوصیات مقاومت به ضربه ضعیفی در درجه حرارت محیط دارند، بوده تا یک چدن نشکن با استحکام کششی ارتقا یافته بدون افت در چقرمگی ضربه (با BDTT پایین تر) بدست آید. آلیاژها حاوی ۲ و ۳ درصد سیلیسیم با عناصری مانند Mn, Ni, Cu به منظور ارتقای تاثیر پذیری با عملیات حرارتی در محدوده دماهای بحرانی و رسیدن به یک سطح سختی پذیری مورد نیاز، تهیه گردید. تحقیقات قبلی نشان داد که Mn, Cu به باقی ماندن پرلیت در هنگام سرد شدن در هوا از دمای محدوده بحرانی کمک می کند. بدون بالا بردن Mn, Cu ساختارهای سرد شده در هوا، پرلیت کمتری داشته که بدین ترتیب ارتقای سطح استحکام به میزان مورد نیاز میسر نمی گردد. آلیاژ ۴ درصد سیلیسیم برای ارائه گرید SSF چدن نشکن انتخاب شده و عناصر آلیاژی Mn, Ni, Cu کاهش داده شده تا بهترین گرید SSF تهیه شود. نکته حائز اهمیت اینکه بر روی آلیاژ ۴ درصد سیلیسیم هیچ عملیات حرارتی در محدوده دماهای بحرانی انجام نشد.

۴-۱- ساختار میکروسکوپی

هدف اولیه این تحقیق تلاش برای ظریف کردن اندازه دانه های فریت به منظور ارتقای خصوصیات چدن نشکن فریتی بود. برای دستیابی به دانه بندی ظریف چند نوع عملیات حرارتی بر روی سه آلیاژ انجام شد. بر مبنای یک تحقیق قبلی، ایده عملیات آنیل بعد از آتمپر ایجاد یک ریزساختار کاملا فریتی موفقیت آمیز بوده است. شکل های ۸, ۷a, ۶a نشان می دهد با انجام آنیل بر روی نمونه آستمپر شده در محدود دمایی ۶۶۶ تا ۶۲۱ درجه ی سانتی گراد دانه های فریت سوزنی باقی می ماند

و در این درجه حرارت ها دانه به سمت پلی گونال درشت نمی روند و مقدار سختی در این نمونه ها با سیلیسیم ۱/۹ و ۲/۸ درصد نیز پس از آنیل کردن در محدوده ۱۸۱ تا ۲۰۴ برنیل بوده است. عملیات حرارتی در محدوده دماهای بحرانی باعث ایجاد یک ریزساختار سوزنی ظریف می شود. اما پس از آنیل کردن نمونه هایی که در روغن کوئنچ شده اند، یک ساختار ظریف دانه باقی می ماند. شکل های ۷b, ۶b نشان می دهد که در اثر آنیل کردن در ۹۳۵ درجه ی سانتی گراد برای فریتی کردن مارتنزیت و ضمنا رسیدن به سختی لازم کافی بوده و مقادیر سختی پس از این عملیات آنیل برای آلیاژهای حاوی ۱/۹ و ۲/۸ به ترتیب ۱۷۴ و ۱۹۹ برنیل بوده است. نکته حائز توجه اینکه انجام عملیات آنیل و تمپر مارتنزیت باعث بوجود آمدن مقداری گرافیت ثانویه نیز می گردد. این یک پدیده کاملا شناخته شده برای چدن های خاکستری و نشکن است که در آن عموماً در هنگام تمپر کردن مارتنزیت در دمای ۴۸۲ درجه ی سانتی گراد و یا بالاتر، گرافیت ثانویه بوجود می آید. در هنگام سرد کردن در هوای محیط پس از نگهداشتن در درجه حرارت محدوده دماهای بحرانی، یک ریزساختار شامل پرلیت سوزنی در زمینه فریت شکل می گیرد. آنیل کردن موجب تجزیه جزئی پرلیت می شود. با آنیل کردن در ۵۹۳ درجه سانتی گراد به مدت ۸ ساعت، سختی کاهش یافته و به محدوده دلخواه حدود ۲۰۰ برینل می رسد. در این درجه حرارت و سطح سختی، ریزساختار اصلی سوزنی کامل در شکل های ۶c, ۷c قابل مشاهده است.

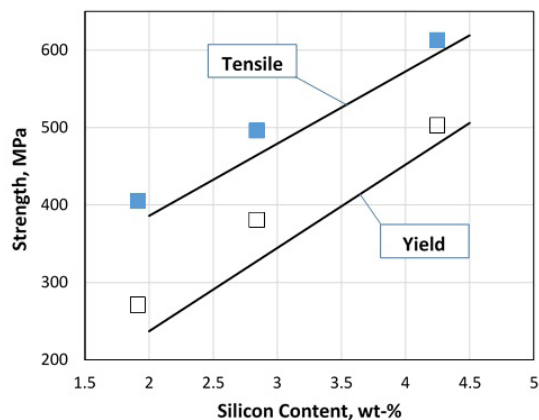
۴-۲- خصوصیات مکانیکی

استحکام های سه آلیاژ آنیل شده بر اساس شکل ۹ بستگی به مقدار سیلیسیم دارد و این ارتباط توسط B.jorkegren و همکارانش مطابق شکل ۱ گزارش گردیده است. اثر استحکام بخشی انحلالی بر سه آلیاژ مورد مطالعه با گزارشات او سازگاری داشته است. در شکل ۱۰a یک ارتباط از استحکام با سختی برای سه آلیاژ مورد مطالعه و عملیات حرارتی های انجام شده، ارائه گردیده است. استحکام تسلیم و ازدیاد طول نسبی با گریدهای تجاری ASTM در شکل ۱۰b مقایسه شده است. نمونه آستمپر و آنیل شده با مقادیر معمولی ۱/۹ و ۲/۸ درصد سیلیسیم استحکام و انعطاف پذیری (چکش خواری) خوبی را با وجود مقادیر سختی نسبتاً پایین یعنی ۱۸۱ تا ۱۹۹ برینل دارا است. استحکام کششی آلیاژ حدود ۱/۹ درصد سیلیسیم در اثر عملیات آستمپر و آنیل و عملیات حرارتی در محدود دماهای بحرانی به علاوه آنیل بیش از ۵۰ درصد افزایش یافت. حتی آلیاژ حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم نیز پس از آنیل با روش عملیات حرارتی استحکام تسلیم و کشش بالاتری یافت که به ترتیب ۵۳۸ و ۶۴۵ مگاپاسکال بوده است. با ایده عملیات حرارتی در محدوده دماهای بحرانی، کوئنچ در روغن و آنیل، افزایش قابل ملاحظه ای در سختی و استحکام نسبت به شرایط آنیل کامل بوجود می آید. در سختی ۱۹۹ برینل

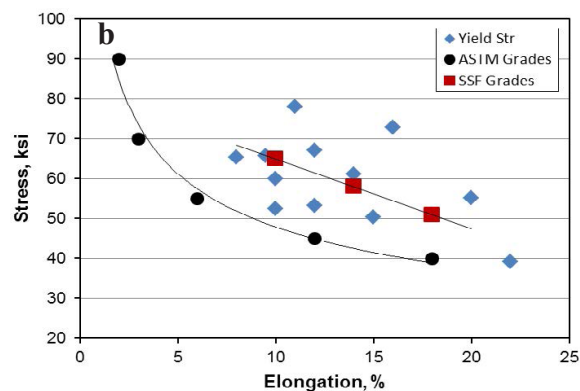
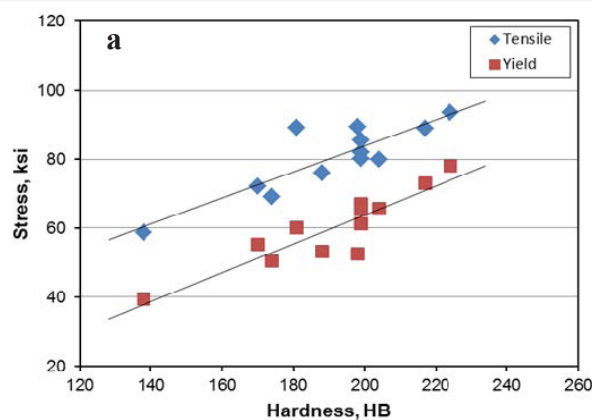
استحکام تسلیم و کشش آلیاژ حاوی ۲/۸ درصد سیلیسیم به ترتیب به ۴۵۱ و ۵۵۳ مگاپاسکال می‌رسد. این خصوصیات در حد نمونه های استمپر به علاوه آنیل برای همین آلیاژ است. یکبار دیگر تمپر کردن ساختار مارتنزیت موجب بوجود آمدن گرافیت ثانویه شده که ممکن است باعث پایین آمدن انعطاف پذیری، استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی آلیاژ در این شرایط عملیات حرارتی گردد. مطابق شکل ۷c خنک کردن در هوا و سپس درجه حرارت محدوده بحرانی و آنیل به میزان قابل ملاحظه ای موجب تجزیه پرلیت شده است اما هنوز ساختار سوزنی ریزدانه باقی مانده است. با این حال سختی و استحکام بالا باقی می‌ماند. در یک نمونه آنیل شده حاوی ۲/۸ درصد سیلیسیم با سختی ۱۹۹ برینل استحکام تسلیم و کشش به ترتیب به ۴۲۲ و ۵۸۸ مگاپاسکال می‌رسد. این خصوصیات بسیار مشابه نمونه های استمپر و آنیل شده و گرید ۱۰-۶۰۰ آلیاژ SSF با یک ازدیاد طول نسبی بالا (۱۴ درصد) است.

۳-۴- خصوصیات مقاومت به ضربه

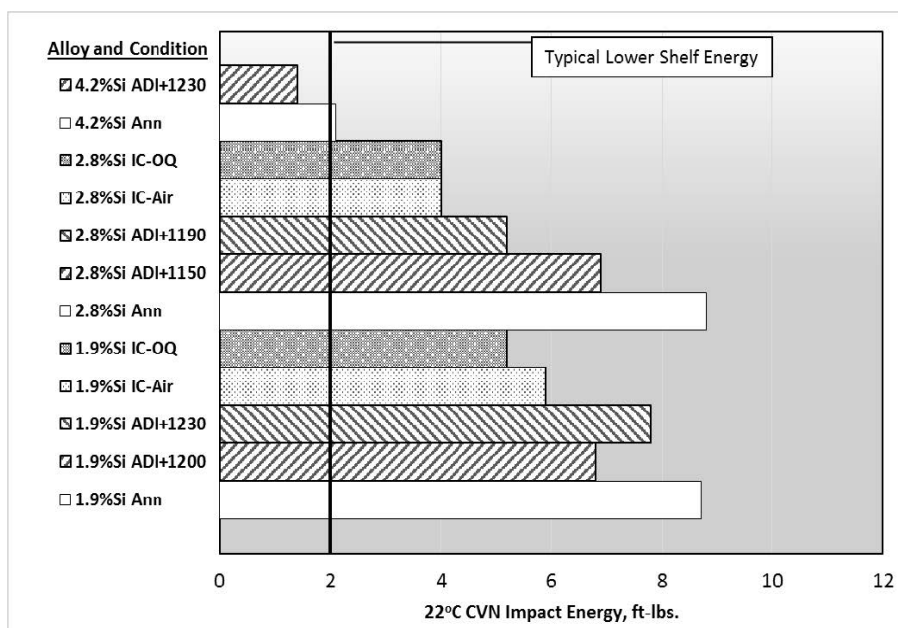
چدن های نشکن با ساختار زمینه فریتی (BCC) در درجه حرارت های پایین دارای انرژی پایین و شکست ترد هستند در حالی که در درجه حرارت های بالاتر انرژی شکست بالا رفته و نوع شکست نیز نرم (چکش خوار) می‌گردد. در آزمون ضربه چارپی با نمونه شکاف دار (CVN) همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده انتقال از شکست نرم به ترد عمدتاً در محدوده ۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد بوجود می‌آید و سطح بالای دامنه انرژی نیز ۱۲ تا ۱۶ و سطح پایین تر (۱ تا ۲) (معادل ۱/۴ تا ۲/۷ ژول) است. در طرح های دارای شکاف و یا تمرکز قابل توجه تنش بوده و تحت بار ضربه ای قرار می‌گیرند، توصیه شده که درجه حرارت کاری در دامنه و محدوده بالایی باشد. انرژی ضربه CVN در درجه حرارت محیط یک شاخص خوب برای موقعیت ناحیه انتقال DBTT است. در شکل ۱۱ انرژی های ضربه در درجه حرارت محیط برای آلیاژهای چدن نشکن مورد مطالعه، ارائه گردیده است. اما تمامی آلیاژهای حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم مقدار انعطاف پذیری در درجه حرارت محیط (۲۲ درجه ی سانتی گراد) نشان دادن. انرژی های ضربه CVN در درجه حرارت محیط برای آلیاژهای حاوی ۱/۹ و ۲/۸ درصد سیلیسیم آنیل شده بالای ۸ ft-lbs بوده که نشان می‌دهد DBTT برای هر دو آلیاژ نزدیک و یا زیر درجه حرارت محیط بوده است. انرژی های ضربه آلیاژهای حاوی ۱/۹ و ۲/۸ درصد سیلیسیم در تمامی شرایط عملیات حرارتی بالای محدوده پایینی انرژی یعنی ۲ ft-lbs بوده اند. اما در مورد آلیاژ حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم، انرژی های ضربه برای همه در شرایط آنیل شده و استمپر به علاوه آنیل در ناحیه پایینی انرژی بوده که مبین بالاتر بودن DBTT از درجه حرارت محیط است. یک روش سنتی برای پیشگیری از شکست ترد یک قطعه این است که فقط در درجه حرارتی بالای درجه حرارت انتقال به کار رود.



شکل ۹) ارتباط استحکام تسلیم و کشش با مقدار سیلیسیم برای چدن های نشکن آنیل شده بر اساس منحنی های Bjorkregren و همکارانش



شکل ۱۰) ارتباط استحکام تسلیم با الف) سختی ب) ازدیاد طول نسبی برای آلیاژهای چدن نشکن عملیات حرارتی شده



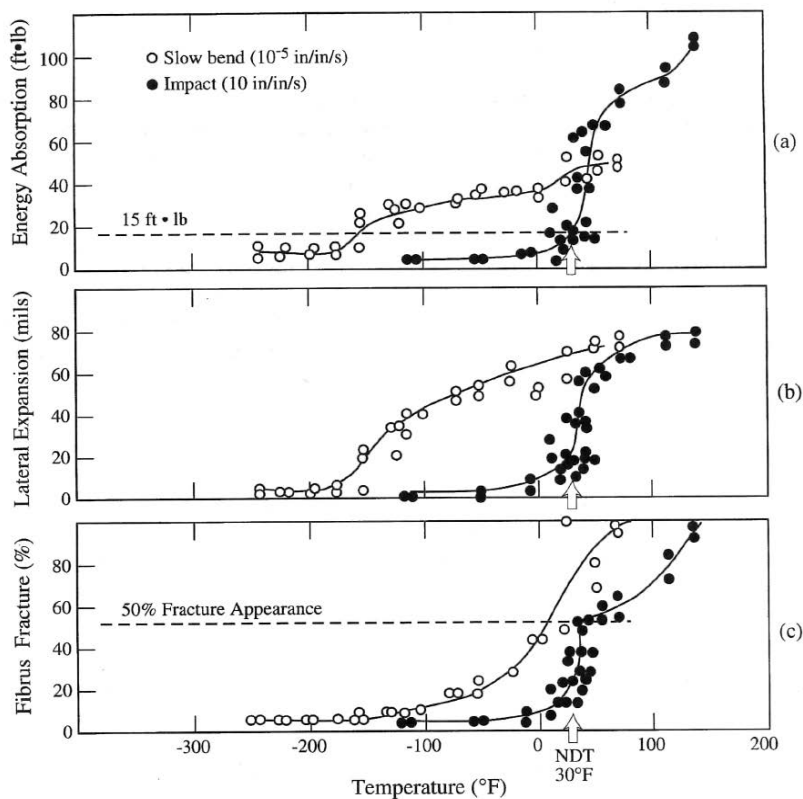
شکل ۱۱) انرژی مقاومت به ضربه در درجه حرارت محیط برای آلیاژهای مورد مطالعه

درجه حرارت های NDT برای آلیاژهای دارای ۱/۹ و ۲/۸ درصد سیلیسیم است. اما تلفیق خنک شدن در هوا پس از عملیات حرارتی در محدوده بحرانی و به دنبال آن آنیل کردن باعث کسب بهترین خصوصیات ضربه برای هر دو آلیاژ حاوی ۱/۹ و ۲/۸ درصد سیلیسیم شده به طوری که درجه حرارت NDT به منفی ۲۵ درجه ی سانتی گراد رسیده است. خصوصیات کششی نیز برای هر دو آلیاژ در این شرایط عملیات حرارتی قابل رقابت و مقایسه با آلیاژهای SSF گرید ۱۰-۶۰۰ هستند.

۵- نتیجه گیری

پیش تر استحکام چدن نشکن فریتی ابتدا با مقدار سیلیسیم کنترل می گردیده اما در تحقیق حاضر برای ارتقای استحکام بدون افزایش همزمان درجه حرارت انتقال شکست نرم به ترد از ریز کردن دانه ها استفاده شده است. همچنین سختی و استحکام آلیاژهای چدن نشکن فریتی با مقادیر معمولی ۱/۹ و ۲/۸ درصد سیلیسیم نیز بوسیله عملیات حرارتی ارتقا داده شده است. روش های مختلفی از عملیات حرارتی در ظرفیت شدن اندازه دانه ها اثر بخش بود، لیکن روشی شامل آستمپر به علاوه آنیل در ظرفیت کردن ساختار دانه های فریت و در نتیجه افزایش استحکام موفقیت آمیز بوده است. آستمپر کردن در ۳۵۸ درجه ی سانتی گراد و به دنبال آن آنیل کردن نمونه های چدن نشکن در دمایی بین ۶۲۱ تا ۶۶۶ درجه سانتی گراد ساختار آسفریت را به ساختاری فریتی با دانه های ظرفیت تبدیل نمود. استحکام از طریق ظرفیت شدن دانه ها به میزان ۵۰ درصد ارتقا یافت و به خصوصیات برخی آلیاژها مانند

البته در تحقیق حاضر آزمون ضربه در مقدار محدودی از دماها انجام شد. بنابراین برای تعیین درجه حرارتی که انعطاف پذیری صفر می شود (NDT) انتهای پایینی منحنی انتقال در انرژی ضربه مورد مطالعه قرار گیرد. در درجه حرارت NDT رفتار شکست ترد در آلیاژهای آهنی را پیش بینی می کند به طوری که در هنگام کار در درجه حرارت NDT و یا زیر آن، قطعه تحت شرایط اعمال بار ضربه ای شکستی ترد خواهد داشت. اما مطابق شکل ۱۲ در سرعت های اعمال بار متوسط و آرام نمونه های شکاف دار می تواند چقرمگی رضایت بخشی در درجه حرارت های پایین تر داشته باشند. در سرعت های بالاتر اعمال بار چقرمگی نمونه شکاف دار به شدت کاهش می یابد. شکست ترد بروز کرده و انرژی جذب شده تنزل پیدا می کند. همچنین با بروز این پدیده متناسب باشکل هندسی قطعه و موقعیت ترک، توسعه آن و پیشگیری از گسیختگی فاجعه بار غیر ممکن خواهد بود. همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده در درجه حرارت NDT در لبه ی ناحیه پایین دمای منحنی انتقال DBTT یعنی محدوده پایین تر از انرژی قرار گرفته است. در جدول ۶ یک برآورد از درجه حرارت NDT برای آلیاژهای مورد مطالعه در تحقیق حاضر تعیین گردیده و در شکل ۱۳ یک نمودار میله ای از درجه حرارت های NDT برای هر سه آلیاژ درز شرایط مختلف عملیات حرارتی ارائه شده است. ملاحظه می شود برای تمامی آلیاژها به جر آلیاژ حاوی ۴/۲ درصد سیلیسیم درجه حرارت های NDT بالای ۵۰ درجه سانتی گراد بودند. برای بیشتر قطعات شرایط عملیات حرارتی آستمپر به علاوه آنیل نشان دهنده پایین ترین



شکل ۱۲ الف) انرژی جذب شده در آزمون ضربه چاریبی با نمونه شکاف دار

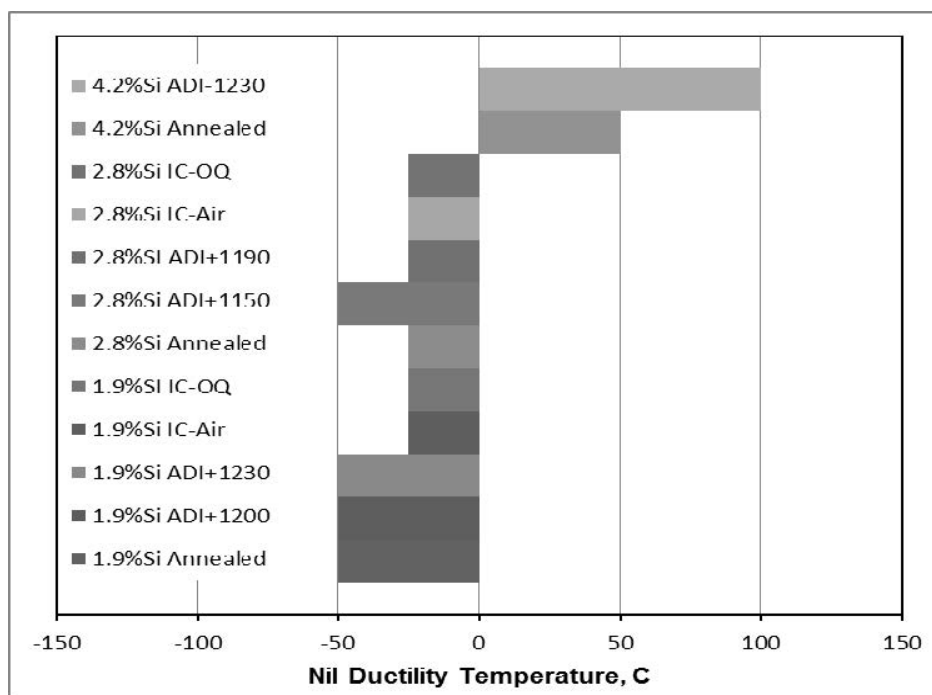
ب) انبساط عرضی

ج) شکست الیافی شکل

برای نمونه های CVN فولادهای ساختمانی با استحکام پایین در آزمون ضربه و خمش آرام

Material	Condition	Hardness HBW3000	0.2% Offset Yield Strength ksi (MPa)	Tensile Strength ksi (MPa)	Elongation %	Nil Ductility Temperature deg. C
1.9% Si Alloy	Annealed	138	39.3 (271)	58.8 (405)	22	< -50
	ADI Low-T	188	60.0 (413)	89.1 (614)	10	< -50
	ADI High-T	181	53.2 (367)	75.9 (523)	12	< -50
	IC Air-cooled	198	52.5 (362)	89.3 (616)	10	< -25
	IC - Q&T	174	50.4 (348)	69.0 (476)	15	< -25
2.8% Si Alloy	Annealed	170	55.2 (381)	72.0 (496)	20	< -25
	ADI Low-T	204	65.7 (453)	80.0 (552)	9.5	< -50
	ADI High-T	199	67.1 (463)	81.9 (565)	12	≈ -25
	IC Air-cooled	199	61.2 (422)	85.3 (588)	14	-25
	IC - Q&T	199	65.4 (451)	80.2 (553)	8	≈ -25
4.2% Si Alloy	Annealed	217	72.9 (503)	88.9 (613)	16	≈ 50
	ADI High-T	224	78.0 (538)	93.5 (645)	11	≈ 100

جدول ۶) خصوصیات مکانیکی و درجه حرارت NDT مورد مطالعه آلیاژهای مورد مطالعه



شکل ۱۳) نمودار میله ای مقایسه درجه حرارت NDT برای هر آلیاژ و شرایط عملیات حرارتی

2019 AFS Transation, Vol 127

منبع: استاندارد EN1۵۶۳ گرید چدن های SSF (۶۰۰-۱۰) نزدیک گردید. آنیل کردن نمونه ها از درجه حرارت در محدوده بحرانی همچنین موجب ریزدانه‌گی و یک افزایش مشابه در استحکام می گردد. آنیل نمونه های چدن نشکن عملیات حرارتی شده در محدوده دماهای بحرانی در ۵۹۳ درجه ی سانتی گراد برای مدت ۸ ساعت ذرات مارتنزیت را بدون رشد دانه های قابل توجه، تبدیل به فریت می نماید. همچنین سیکل آنیل موجب تجزیه قابل توجه ساختار پرلیت سوزنی بدون درشت شدن زیاد دانه ها بدست آمده از عملیات حرارتی در محدوده دماهای بحرانی به دانه بندی ظریف فریت گردید افزایش های مشابهی در استحکام نیز بدست آمده است. به طور خلاصه آلاژهای چدن نشکن دارای مقادیر معمولی سیلیسیم تا سطوحی که قابل مقایسه با چدن های پرلیتی و چدن های SSF استحکام دهی می شوند در حالی که چقرمگی در درجه حرارت محیط آنها بالاتر بوده و درجه حرارت های NDT آنها نیز پایین تر بوده است. این نمونه های چدن نشکن با دانه بندی و استحکام بالا و چقرمگی ضربه (CVN) در درجه حرارت محیط بهتری نیاز است استفاده شوند. نتایج تحقیق حاضر باعث آگاهی از چگونگی تولید چدن های نشکن فریتی با تلفیقی از استحکام و چقرمگی بیش از انتظارات نرمال قید شده در استاندارد ASTM-A۳۵۶ گردیده است. چنین انتظار می رود که تحقیق حاضر به تولید قطعات چدن های نشکن سبک وزن با استحکام بالاتر و چقرمگی در درجه حرارت پایین کمک نماید.

ارزیابی ترک حرارتی در غلتک کاری دولایه با در نظر گرفتن تنش پسماند عملیات حرارتی همراه با تنش حرارتی در طول نورد گرم

مسعود خاری زاده، شرکت ایران غلتک کاشان

Evaluation of Thermal Breakage in Bimetallic Work Roll Considering Heat Treated Residual Stress Combined with Thermal Stress during Hot Rolling

Masoud Kharizade, Iran Ghaltak Company

مقدمه

غلتک های دو لایه به دلیل سختی عالی، مقاومت در برابر سایش و خواص مطلوب در دمای بالا به طور گسترده در صنعت نورد فولاد استفاده می شوند. تنش های پسماند حرارتی شامل تنش فشاری در پوسته و تنش کششی در هسته در غلتک های دو لایه در طی عملیات حرارتی ایجاد می شوند. در فرآیند نورد گرم، تنش های حرارتی شدید ناشی از سیکل های حرارتی گرمایش و سرمایش در سطح غلتک ایجاد می شود. ترکیب تنش های پسماند عملیات حرارتی و تنش های حرارتی حین کار باعث ایجاد یک میدان تنش پیچیده در غلتک کاری در طول فرآیند نورد گرم می شود. زمانی که تنش کششی ترکیبی در مرکز غلتک از مقاومت ماده بیشتر شود ممکن است باعث شکستگی حرارتی شود، در نتیجه، بررسی تنش های ترکیبی برای بهبود عمر غلتک در طول فرآیند نورد گرم ضروری است. در این مقاله، تنش های ترکیبی در غلتک کاری در حین نورد گرم بر اساس شبیه سازی FEM، با در نظر گرفتن تنش پسماند عملیات حرارتی پس از فرآیند گرم کردن و تنش حرارتی ایجاد شده در طول نورد گرم بررسی شده اند. علاوه بر این، شکست حرارتی غلتک کاری در اثر خرابی سیستم های خنک کننده آب و حوادث نوردی ارزیابی می شود.

۱-تاریخچه

در نتیجه تنش های شدیدی به نام تنش های حرارتی در غلتک کاری ایجاد می شود. تنش های حرارتی باعث برخی آسیب های سطحی مانند سایش، ترک و پوسته شدن می گردد. شکل دیگری از شکست غلتک ها که به نام شکست حرارتی شناخته می شود، در نزدیکی مرکز غلتک ایجاد شده و به سطح گسترش می یابد. شکست حرارتی ارتباط نزدیکی با تنش های حرارتی در مرکز غلتک دارد. در نتیجه، تلاش چشمگیری برای بررسی رفتار حرارتی غلتک های کاری اختصاص داده شده است.

علاوه بر این، ترکیب تنش های پسماند عملیات حرارتی و تنش های حرارتی حین کار باعث ایجاد یک میدان تنش پیچیده در غلتک های کاری در طول فرآیند نورد گرم می شوند. مطالعات قبلی عمدتاً بر روی تنش های سطحی از جمله تنش حرارتی و تنش مکانیکی

غلتک کاری یکی از مهمترین ابزارهای فرم دهی سرد و گرم برای کاهش ضخامت قطعات فلزی است. مشخصات شکل و کیفیت سطح غلتک های کاری می تواند تا حد زیادی کیفیت محصولات و بهره وری را تعیین کند. تنش های پسماند عملیات حرارتی، ناشی از گرادیان دما و تغییر فاز در طی فرآیند عملیات حرارتی شامل فرآیندهای کوئنچ و تمپر کردن ایجاد می شوند. هم چنین تنش های پسماند فشاری در پوسته و تنش های پسماند کششی در هسته غلتک های کاری دو لایه پس از عملیات حرارتی ایجاد می شوند. در بخش های بعدی فرآیند نورد گرم، غلتک های کاری به دلیل تماس با محصول گرم و متعاقب آن خنک شدن با آب در طول هر سیکل نورد گرم، در معرض سیکل گرمایش و سرمایش روی سطح غلتک هستند. از این رو، گرادیان حرارتی بزرگی در نزدیکی سطح تشکیل می شود و

به منظور کاهش کار محاسباتی و صرفه جویی در زمان، از دو مدل ساده شده استفاده می شود که شامل یک مدل FEM در صفحه محوری نشان داده شده در شکل ۱b و یک صفحه FEM در سطح مقطع نشان داده شده در شکل ۱c از غلتک کاری است. مدل FEM در صفحه محوری برای شبیه سازی تنش پسماند عملیات حرارتی در طول عملیات حرارتی و شبیه سازی تنش ترکیبی در طول نورد گرم استفاده می شود. مدل FEM در سطح مقطع برای شبیه سازی دما در هنگام نورد گرم استفاده می شود. همانطور که در شکل ۱b نشان داده شده است، یک اصلاح مش در نزدیکی سطح غلتک با گرادیان حرارتی بسیار زیاد در طول نورد گرم، به ویژه نزدیک ناحیه تماس با محصول گرم در نظر گرفته شده است. همانطور که در شکل ۱c نشان داده شده است، در همان زمان، اصلاح مش در نزدیکی سطح غلتک، در هر دو جهت مماسی و شعاعی اعمال می شود.

۲-۲- تجزیه و تحلیل FEM برای عملیات حرارتی

در این مقاله، شبیه سازی تنش پسماند ناشی از عملیات حرارتی با در نظر گرفتن دمای کوئنچ و فرآیند تمپرینگ، با استفاده از مدل FEM در صفحه محوری شکل ۱b انجام خواهد شد. مشابه روش آزمایش و روش شبیه سازی در مطالعات قبلی ما، [۱۸] دمای سطح اندازه گیری شده تجربی بر روی سطح غلتک مدل FEM اعمال می شود. پس از آن، خواص به دست آمده آلیاژ به عنوان داده های ورودی به شبیه سازی اعمال می شود. لازم به ذکر است که این مقاله تشریح فرآیند عملیات حرارتی خودداری می نماید.

۲-۳- تجزیه و تحلیل FEM برای نورد گرم

پس از عملیات حرارتی، شبیه سازی نورد گرم انجام خواهد شد. ابتدا، شبیه سازی دما با استفاده از مدل FEM در شکل ۱c انجام خواهد شد. سپس، شبیه سازی تنش ترکیبی با استفاده از مدل FEM در شکل ۱b انجام خواهد شد.

رفتار حرارتی غلتک کاری در شرایط نورد پایدار توسط بسیاری از محققین گزارش شده است، بنابراین، این مقاله بر روی غلتک های مرحله اولیه استند های نهایی تمرکز دارد. علاوه بر این، خطر بالای شکستگی حرارتی در مراحل اولیه نورد گرم به دلیل دمای پایین تر در هسته غلتک و دمای بالاتر در پوسته غلتک رخ می دهد. [۱۶] در این مقاله دمای یکنواخت در غلتک کاری قبل از نورد ۳۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. شکل ۱d شرایط مرزی حرارتی را در امتداد جهت θ غلتک کاری در طول یک سیکل نورد در این مقاله نشان می دهد. قوس ۱_۲ و ۳_۲ و ۱_۸ مناطق کاری و محصول گرم را نشان می دهد. قوس ۲_۱ منطقه تماس بین غلتک کاری و محصول گرم را نشان می دهد. قوس ۳_۴ و ۸_۷ مناطق پاشش آب را نشان می دهد. قوس ۴_۵ و ۷_۶ مناطق خنک شده توسط هوا را نشان می دهد. و قوس ۵_۶ منطقه تماس بین غلتک کاری و غلتک

متمركز بودند، با این حال، تعداد کمی از آنها روی تنش های مرکزی مطالعات داشته اند. در واقع در حین نورد گرم، تنش های پسماند عملیات حرارتی در غلتک های کاری به طور قابل توجهی بر عمر مفید آنها تأثیر می گذارد. تنش های فشاری پسماند عملیات حرارتی می تواند از شروع ترک حرارتی در سطح غلتک، که در معرض بارهای متناوب سیکلی است، جلوگیری کند. [۱۵] در همان زمان، تنش کششی پسماند عملیات حرارتی به تنش حرارتی کششی در مرکز اضافه خواهد شد. زمانی که تنش کششی ترکیبی از استحکام آلیاژ غلتک بالاتر برود ممکن است باعث شکستگی حرارتی در مرکز غلتک شود. بنابراین، برای بررسی رفتار حرارتی و شکست غلتک های کاری ضروری است که تنش پسماند عملیات حرارتی را در نظر بگیریم.

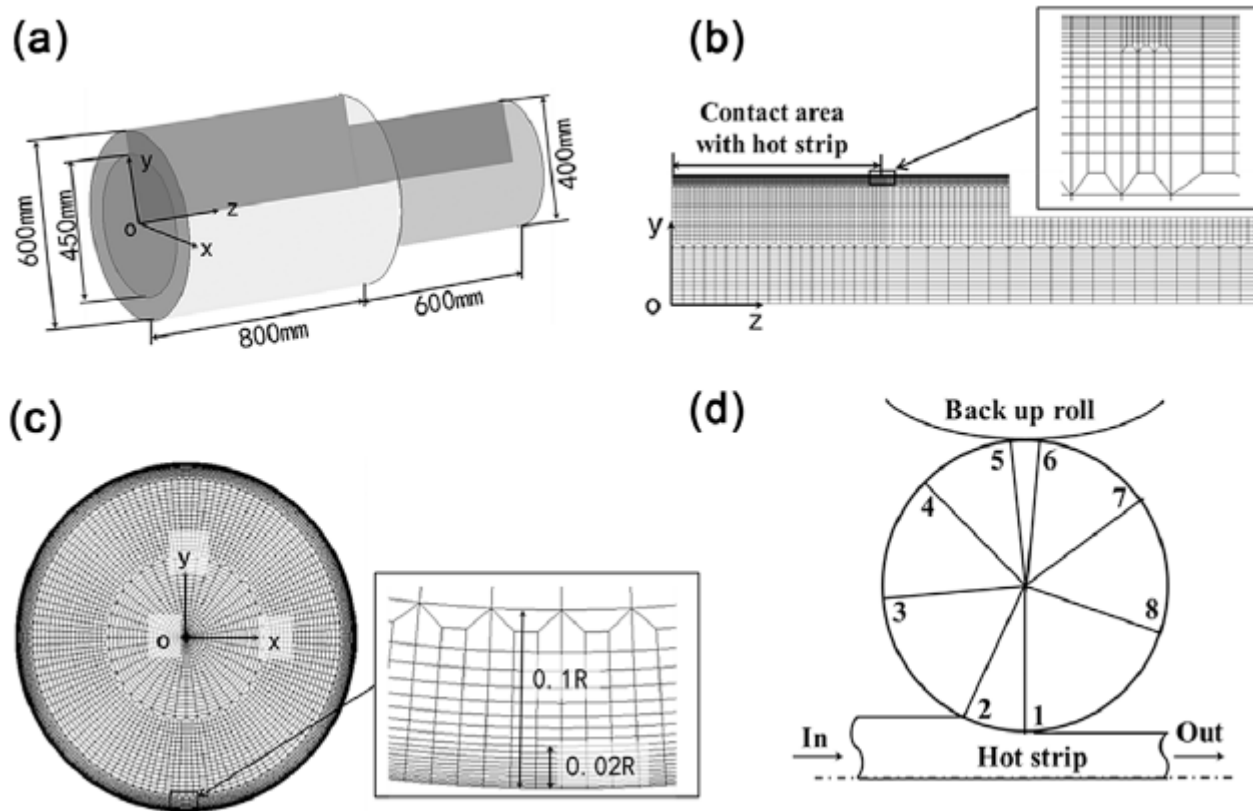
در مطالعات قبلی ما، [۱۸، ۱۹] مکانیزم تولید تنش های پسماند ناشی از کوئنچ غلتک کاری در حین عملیات کوئنچ کردن به نام کوئنچ حرارتی غیر یکنواخت با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار، مانند مقدار انبساط ناشی از تبدیل فاز، نسبت لایه دوم به لایه اول، قطر، رفتار خزش، و یک رفتار جدید بررسی شده است. دمای کوئنچ و فرآیند تمپر کردن بعدی آن هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته است. دمای کوئنچ تأثیر قابل توجهی بر ساختار و خواص غلتک های فولادی (HSS) دارد. علاوه بر این، تنش پسماند ناشی از کوئنچ در طول فرآیند تمپر آزاد می شود. بنابراین، قبل از شبیه سازی نورد گرم، باید برای بالا بردن دقت شبیه سازی، فرآیند تمپرینگ انجام شود.

در این مقاله، ارزیابی شکست حرارتی غلتک کاری دو لایه با استفاده از روش المان محدود (FEM)، با تمرکز بر تنش ترکیبی در مرکز غلتک انجام خواهد شد. ابتدا شبیه سازی هایی با در نظر گرفتن دمای کوئنچ و فرآیند تمپرینگ انجام خواهد شد. سپس با در نظر گرفتن شرایط حرارتی از جمله تماس با محصول گرم، خنک کننده آب و هوا و افشانک های خنک کننده، شبیه سازی نورد گرم برای به دست آوردن دما در غلتک کاری انجام می شود. پس از آن، تنش ترکیبی با استفاده از یک مدل ترمو الاستیک انجام شده و با تنش پسماند عملیات حرارتی ترکیب می شود. در نهایت، شکست حرارتی غلتک کاری با استفاده از تنش های ترکیبی در مرکز غلتک در خرابی ناشی از سیستم های خنک کننده آب و حوادث غلتکی ارزیابی می شود.

۲- شبیه سازی FEM

۲-۱- غلتک کاری دولایه و مدل FEM

غلتک کاری دو لایه به روش ریخته گری گریز از مرکز، با استفاده از فولاد تندبر (HSS) به عنوان آلیاژ لایه اول و چدن داکتیل (DCI) به عنوان آلیاژ لایه دوم تولید می شود. همانطور که در شکل ۱a نشان داده شده است، قطر غلتک ۶۰۰ میلی متر، طول بشکه ۱۶۰۰ میلی متر و ضخامت پوسته ۷۵ میلی متر است. آنالیز شیمیایی HSS و DCI غلتک کاری دو لایه و خواص مواد آزمایشی اندازه گیری شده در دمای اتاق به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.



شکل (۱). غلتک کاری دولایه و مدل FEM: الف) نمودار شماتیک غلتک کاری دو لایه، ب) مدل FEM در صفحه محوری ج) مدل FEM در سطح مقطع و د) شرایط مرزی حرارتی در سطح غلتک در هنگام نورد گرم.

جدول (۱) ترکیبات شیمیایی فولاد تندبر (HSS) و چدن داکتیل

Composition	C	Si	Mn	P	S	Ni
HSS	1-3	< 2	< 1.5			< 5
DCI	2.5-4	1.5-3.1		< 0.1	< 0.1	0.4-5
	Cr	Mo	Co	V	W	Mg
	2-7	< 10	< 10	3-10	< 20	< 10
	0.01-1.5	0.1-1				0.02-0.08

جدول ۲) خواص مکانیکی و حرارتی فولاد تندبر (HSS) و چدن داکتیل برای غلتک فولاد تندبر (HSS) در دمای اتاق.

Property	HSS	DCI
0.2% proof stress [MPa]	1282	415
Young's modulus [GPa]	210	173
Poisson's ratio	0.3	0.3
Density [kg m^{-3}]	7600	7300
Thermal expansion coefficient [K^{-1}]	12.6×10^{-6}	13.0×10^{-6}
Thermal conductivity [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	20.2	23.4
Specific heat [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]	461	460

۳- نتایج و بحث در مورد تنش باقیمانده ناشی از حرارت در طی عملیات حرارتی

۳-۱- اثر دماهای کوئنچ بر تنش پسماند

همانطور که در شکل ۲a نشان داده شده است، به منظور بررسی اثر دمای کوئنچ، دمای کوئنچ کردن بالاتر $T_{\text{high}} = 1100$ و دمای کوئنچ کردن پایین تر $T_{\text{Low}} = 1000$ درجه سانتی گراد که برای مقایسه با دمای کوئنچ کردن معمولی $TC = 1060$ درجه سانتی گراد طراحی شده است. به هر حال، سرعت خنک‌سازی سطحی سه فرآیند کوئنچ ثابت است.

همانطور که در شکل ۲b نشان داده شده است، در پایان فرآیندهای کوئنچ، هر دو تنش کششی مرکزی و تنش های فشاری سطحی با افزایش دمای کوئنچ افزایش می یابند. این پیک در شکل ۲b نشان داده شده است، تنش های سه فرآیند کوئنچ کردن قبل از تبدیل لایه دوم به پرلیت مشابه هستند. با این حال، تنش پسماند مرکز با افزایش دمای کوئنچ کردن، زمانی که تبدیل پرلیت از مرز لایه های اول و دوم شروع می شود، کاهش می یابد. برای متعادل کردن تنش مرکزی، تنش سطحی نیز با افزایش دمای کوئنچ کاهش می یابد. پس از تبدیل پرلیت مرکزی، تغییرات تنش، هم سطح و هم مرکز تقریباً یکسان است. در نتیجه تنش پسماند نهایی در مرکز با افزایش دمای کوئنچ کاهش می یابد. دلیل کاهش تنش مرکزی نهایی را می توان سرعت های متفاوت سرد کردن برای سه فرآیند کوئنچ کردن دانست. همانطور که در پیک نمودار در شکل ۲a نشان داده شده است، سرعت سرد شدن در مرکز با افزایش دمای کوئنچ کردن قبل از تبدیل پرلیت افزایش می یابد. در همین حال، سرعت سرد شدن در مرکز پس از تبدیل پرلیت یکسان است.

همانطور که در شکل ۲c نشان داده شده است، در مقایسه با تنش

پشتیبان را نشان می دهد. شرایط مرزی حرارتی فوق بر روی سطح غلتک اعمال می شود. لازم به ذکر است که گرمای ایجاد شده در اثر تغییر شکل محصول و بارهای مکانیکی در این مقاله لحاظ نشده است. علاوه بر این، برای کوتاه کردن کار محاسباتی و صرفه جویی در زمان، غلتک کاری ثابت منظور شده و بارهای حرارتی سیکلی در نوار مرزی شبیه سازی شده است. [۲۲،۲۳] در واقع، پارامترهای نورد گرم به شدت بر دمای غلتک کاری تأثیر می گذارد، از جمله دمای اولیه غلتک کاری و نورد گرم، خواص جنس غلتک ها، شرایط خنک کننده ها، پارامترهای نازل (مانند فشار نازل، جریان نازل، موقعیت نازل و زاویه آن و حتی فاصله از سطح غلتک)، لایه اکسیداسیون و غیره. [۱۳،۱۴،۲۴].

اثرات این پارامترها بر دمای غلتک کاری را می توان با ضرایب انتقال حرارت ارائه کرد. از آنجایی که ضرایب انتقال حرارت بسیار پیچیده و به سختی به دست می آید، گزارش های موجود در مورد ضرایب انتقال حرارت غلتک کاری همیشه با یکدیگر متفاوت است. با توجه به غلتک کاری HSS، ضرایب مختلف انتقال حرارت را می توان در محدوده وسیعی حتی تنها در ضریب انتقال حرارت خنک کننده آب تغییر داد. شکستگی حرارتی ناشی از تنش ترکیبی را توجیه می کند. به خصوص زمانیکه تنش ترکیبی در مرکز غلتک رخ می دهد که هنوز در مورد آن صحبتی نشده است. ضرایب انتقال حرارت همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است از شبیه سازی دریافت شده است، (اگرچه ممکن است در مقایسه با ضرایب انتقال حرارت واقعی تفاوت هایی وجود داشته باشد). به هر حال، ضرایب انتقال حرارت متغیر؛ برای ارزیابی اثر ضرایب انتقال حرارت بر تنش های ترکیبی در مرکز غلتک طراحی شده اند.

جدول ۳) پارامترهای نورد صنعتی مورد استفاده در شبیه سازی FEM

Parameter	Value	
Velocity of work roll [$m s^{-1}$]	1.51	
Rolling pressure[kN]	15 390	
Initial work roll temperature [$^{\circ}C$]	30	
Hot strip material	SS400	
Strip width [mm]	1000	
Strip thickness at entrance [mm]	40	
Rolling reduction	41.7%	
Entry strip temperature [$^{\circ}C$]	1000	
Air temperature [$^{\circ}C$]	30	
Water temperature [$^{\circ}C$]	25	
Water pressure [MPa]	1.3	
Heat transfer coefficient [$kW/(m^2 \cdot K)$] ^[19]	Bite heating	49.5
	Wiper cooling	15
	Water cooling	35
	Air cooling	0.005

تنش اولیه در شبیه سازی تنش حرارتی اعمال می شود. با این حال، از آنجایی که فرآیند تمپرینگ یکی از پارامترهای مهم فرآیند برای تنش پسماند در غلتک دو لایه است، در مقاله بعدی ما به طور ویژه در مورد تمپرینگ بحث خواهیم کرد. بنابراین، توزیع تنش پسماند نرمال در این مقاله منتشر نخواهد شد تا از مشخص شدن زود هنگام نتایج بررسی ها که در مقاله آینده بحث شده است جلوگیری شود. با این حال، از آنجایی که این مطالعه بر ارزیابی شکست حرارتی ناشی از تنش ترکیبی در مرکز متمرکز شده است، تأثیری بر درک نتایج نهایی وجود نخواهد داشت.

۴- نتایج و بحث در مورد دما و تنش ترکیبی در طول نورد گرم

۴-۱- دما در غلتک کاری در طول نورد گرم

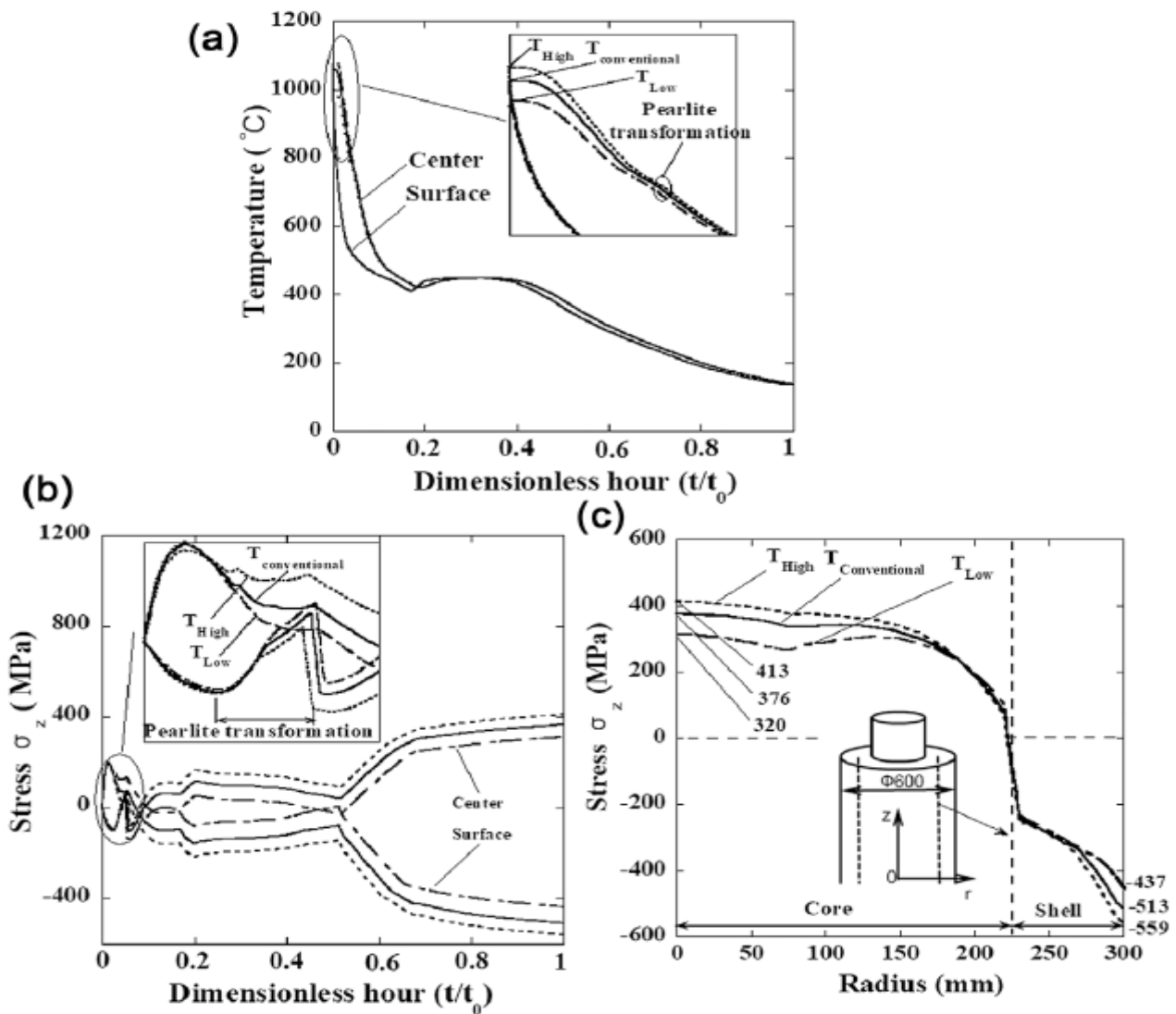
در این قسمت شبیه سازی دما در غلتک کاری در حین نورد گرم انجام خواهد شد. شکل ۴a تغییرات دما را در سطح غلتک در طول اولین سیکل نورد نشان می دهد. مشاهده می شود که دمای سطح به سرعت به مقدار پیک ۵۷۳ درجه سانتیگراد در منطقه کاری از ۱ به

پسماند ۳۷۶ مگاپاسکال در مرکز غلتک در دمای کوئنچ کردن معمولی $T_{Conventional}$ ، تنش پسماند با ۸/۹٪ افزایش از ۳۷۶ به ۴۱۳ مگاپاسکال در دمای کوئنچ کردن بالاتر (T_{High}) افزایش می یابد. در همان زمان، تنش پسماند با ۱۴/۹٪ کاهش از ۳۷۶ به ۳۲۰ مگاپاسکال در دمای کوئنچ کردن پایین (T_{Low}) کاهش می یابد.

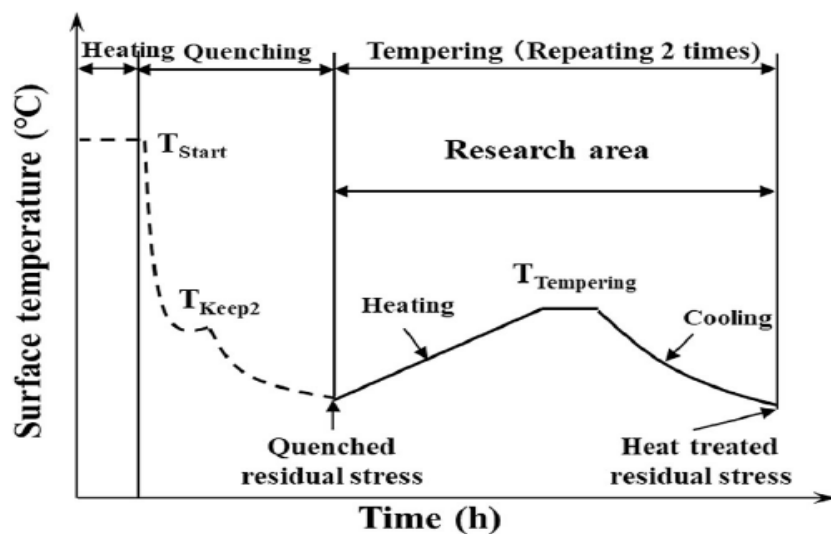
۲-۳- تنش پسماند عملیات حرارتی پس از فرآیند تمپرینگ

فرآیند تمپر برای یک غلتک کاری دو لایه پس از کوئنچ انجام می شود تا ریزساختار پایدار به دست آید و تنش پسماند کوئنچ آزاد شود. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، پس از فرآیند کوئنچ کردن [۱۸]، غلتک به آرامی تا دمای تمپر گرم می شود و برای چندین ساعت در حالت تمپر نگه داشته شده سپس غلتک به آرامی تا دمای اتاق سرد می شود. لازم به ذکر است که در این مطالعه فرآیند تمپر دو بار تکرار خواهد شد..

در این مقاله، تنش پسماند عملیات حرارتی پس از تمپر، به عنوان



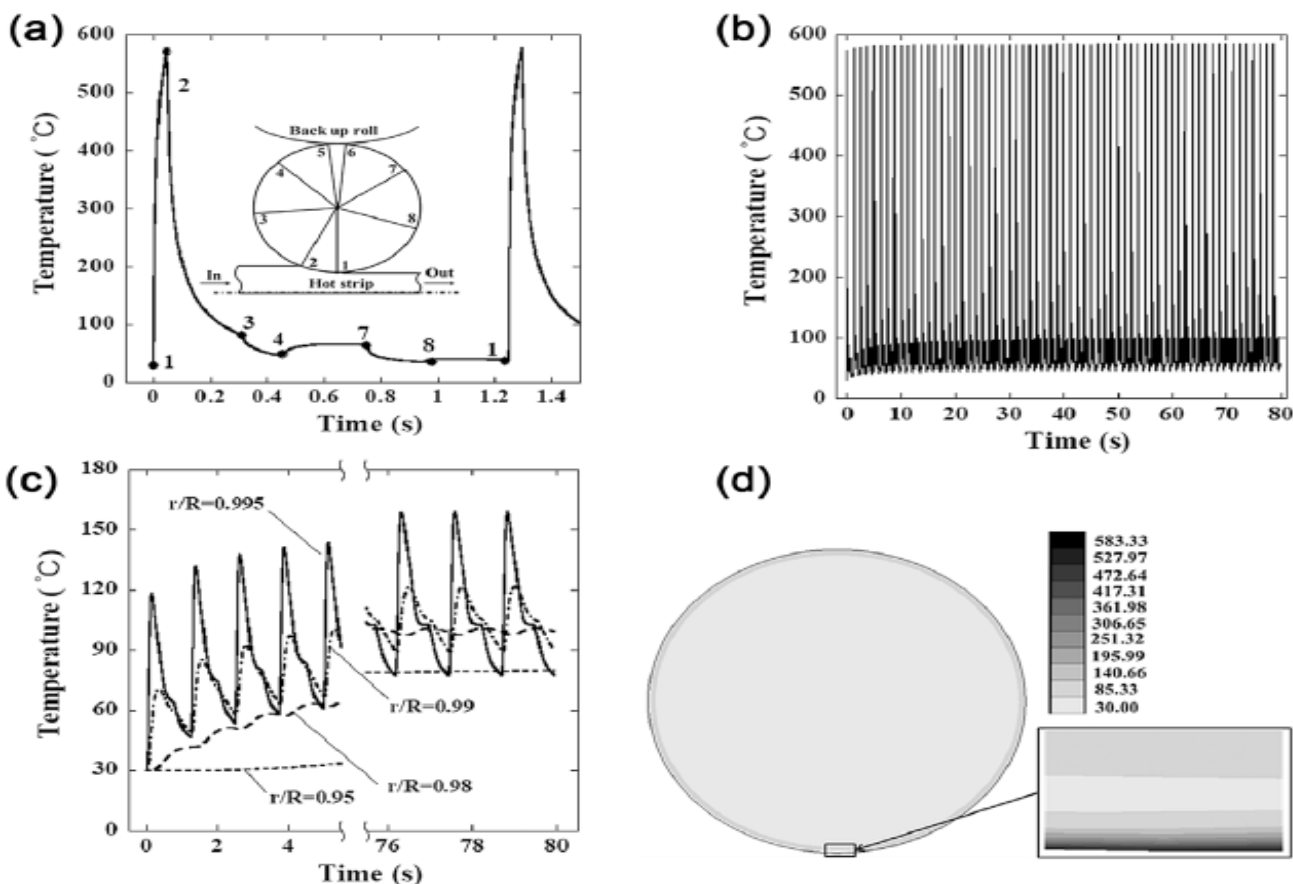
شکل ۲: توزیع تنش پسماند در دماهای مختلف کوئنچ (a) تاریخچه دما (b) تنش پسماند (c) تنش پسماند با توزیع محوری



شکل ۳: نمودار شماتیک دمای سطح غلتک در طول عملیات حرارتی

دمای اولیه ۳۰ تا ۳۸ درجه سانتیگراد افزایش می یابد. علاوه بر این، در دومین چرخش نورد، دمای پیک سطح به ۵۷۶ درجه سانتیگراد و در ناحیه کاری از ۱ به ۲ افزایش می یابد. شکل ۴b تاریخچه دما را در سطح غلتک در طول یک فرآیند نورد تسمه نشان می دهد. حداکثر دمای سطح در ۵۸۳ درجه سانتیگراد پس از ۵ دور نورد ثابت است. شکل ۴c تاریخچه دمایی نزدیک به سطح غلتک را در طول یک فرآیند نورد تسمه، با در نظر گرفتن عمق های مختلف (از جمله ۰/۹۵، ۰/۹۸، ۰/۹۹، ۰/۹۹۵، r/R) در جهت شعاعی نشان می دهد. در این مطالعه R شعاع غلتک کاری HSS و r فاصله از مرکز غلتک است. در مقایسه با تغییرات دمای سطح در حین نورد گرم، افزایش دما در سطح زیرین غلتک کاری کمتر است و حداکثر دما با افزایش عمق کاهش می یابد. این تایید می کند که گرادیان حرارتی زیاد فقط در عمق کمی از سطح غلتک کاری ظاهر می شود. این پدیده را می توان بیشتر در شکل ۴d نشان داد. همانطور که در شکل ۴d نشان داده شده است، عمق نفوذ حرارتی تا ۴۵ میلی متر است.

۲ به دلیل تماس با محصول گرم افزایش می یابد. در مقایسه با نتایج مطالعات قبلی با تمرکز بر غلتک کاری HSS در استند F1 نورد گرم، دمای پیک ۵۷۳ درجه سانتیگراد در این مطالعه نسبتاً کوچک است اما در محدوده معقول است. به عنوان مثال، پس از اولین سیکل نورد پیک دما به ۵۸۱/۳ درجه سانتیگراد می رسد [۱۴]. و در مرجع دیگری به ۵۸۲/۵ درجه سانتیگراد می رسد [۲۵]. تفاوت بین این مطالعه و منابع می تواند ناشی از سرعت نورد، زمان تماس محصول نوردی و یا دمای اولیه نورد یا محصول باشد. بنابراین، نتایج به دست آمده در این شبیه سازی برای ارزیابی دما در غلتک کاری HSS در حین نورد گرم در دسترس است. پس از منطقه کاری، دمای سطح به سرعت به دلیل خنک شدن توسط افشانک از ۲ به ۳ کاهش می یابد. پس از خنک شدن توسط افشانک ها، دمای سطح همچنان در منطقه خنک کننده آب از ۳ به ۴ کاهش می یابد. اما دمای سطح، گرما از سطح زیرین به سطح منتقل می شود. در نتیجه، دمای سطح به جای کاهش مداوم در منطقه خنک کننده آب از ۴ به ۷، کمی افزایش می یابد. در فرآیند بعدی از ۷ به ۱، دمای سطح به تدریج کاهش می یابد. پس از اولین چرخش نورد، دمای سطح از



شکل ۴. توزیع دما در غلتک کاری در حین نورد گرم: (الف) توزیع دما در سطح غلتک در طول اولین سیکل نورد، (ب) تاریخچه دما در سطح غلتک در طول یک فرآیند نورد تسمه، (ج) تاریخچه دمایی نزدیک به سطح غلتک در طول نورد. یک فرآیند نورد تسمه، (د) کانتور دمای غلتک کاری در پایان فرآیند نورد تسمه.

۴-۲- تنش ترکیبی در غلتک کاری در طول نورد گرم

در این قسمت شبیه سازی تنش ترکیبی با استفاده از مدل FEM در شکل ۲b انجام خواهد شد. دمای سطح بدست آمده در شکل ۴b بر روی سطح غلتک اعمال شده است. تنش پسماند عملیات حرارتی پس از فرآیند تمپر به عنوان تنش اولیه برای شبیه سازی تنش ترکیبی اعمال می شود. از آنجایی که تنش مقاله عمدتاً بر تنش ترکیبی در مرکز غلتک متمرکز است، یک تحلیل ترمو-الاستیک ساده انجام شده است. بنابراین، پارامترهای پلاستیک شامل تنش تسلیم و منحنی تنش- کرنش در این شبیه سازی صرف نظر شده اند. شکل ۵ تاریخچه تنش ترکیبی σ_z در سطح غلتک در طول یک فرآیند نورد کامل تسمه را نشان می دهد. تنش ترکیبی در شکل ۵ شامل تنش پسماند عملیات حرارتی و تنش حرارتی است. شکل ۵a تغییرات تنش ترکیبی را در اولین چرخش نورد نشان می دهد. همانطور که در شکل ۵a نشان داده شده است، از آنجایی که دمای سطح در ناحیه کاری از ۱ به ۲ افزایش می یابد، تنش فشاری ترکیبی بزرگتری σ_z ایجاد و به سرعت افزایش می یابد. سپس تنش فشاری ترکیبی σ_z به دلیل خنک شدن به وسیله افشانک و آب سرد به سرعت از نقطه ۲ به نقطه ۴ کاهش می یابد. از نقاط ۴ تا ۷، تنش فشاری ترکیبی σ_z به دلیل افزایش دما کمی افزایش می یابد. از نقطه ۷ به ۱، تنش ترکیبی فشاری به تدریج کاهش می یابد. مشاهده می شود که روند تغییر تنش ترکیبی مشابه نتیجه دمای سطح است. لازم به ذکر است که بیشترین مقدار تنش ترکیبی در اولین چرخش نورد به ۲۶۴۰ مگاپاسکال می رسد. تنش فشاری ترکیبی ماکزیمم را می توان در دو دیدگاه زیر توصیف کرد از یک نظر، تنش پسماند فشاری اصلاح شده با حرارت در نظر گرفته شده در این مطالعه، در مرجع در نظر گرفته نشده است. با این حال، تنش پسماند عملیات حرارتی در سطح غلتک به اندازه کافی بالا است، حتی اگر اندکی کاهش داشته باشد. بنابراین، تنش حرارتی تولید شده تنها ۲۱۶۲ مگاپاسکال است که در ۲۶۴۰ مگاپاسکال در هنگام نورد گرم گنجانده شده است. از نظر دیگری، این مطالعه آنالیز ترمو الاستیک را به جای آنالیز ترموپلاستیک الاستیک اعمال می کند. تنش ترمو الاستیک ایجاد شده در سطح غلتک را می توان از طریق رابطه ۱ زیر ارزیابی کرد. [۲۶]

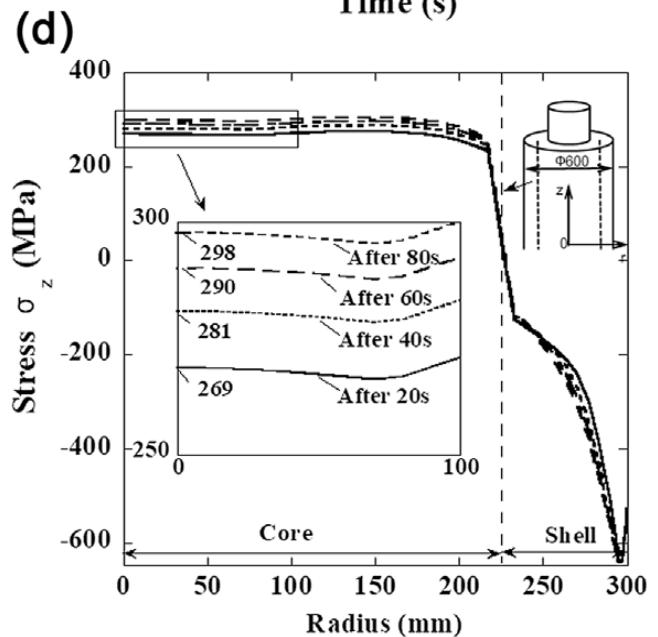
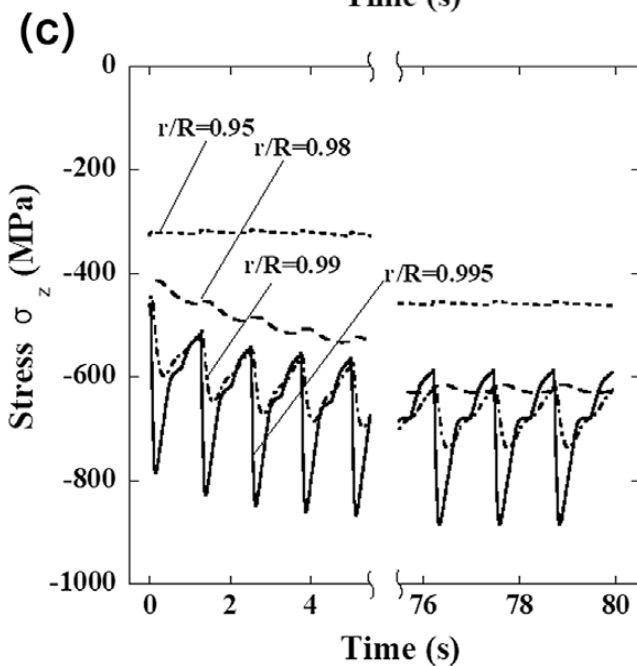
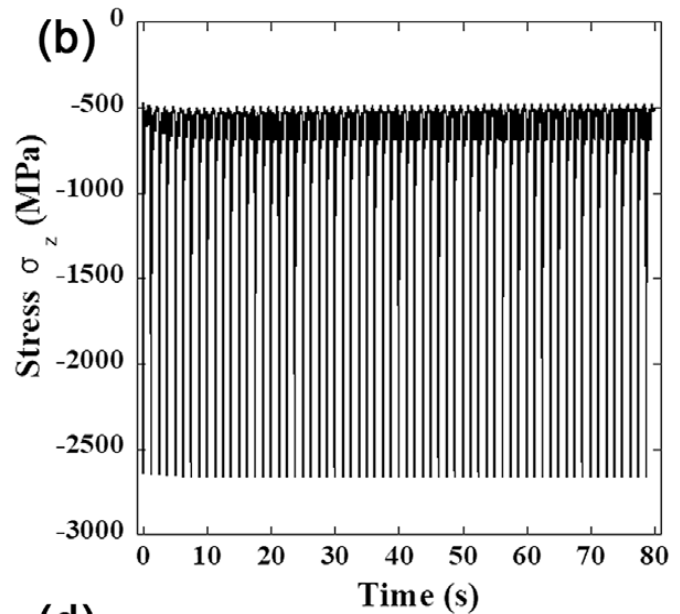
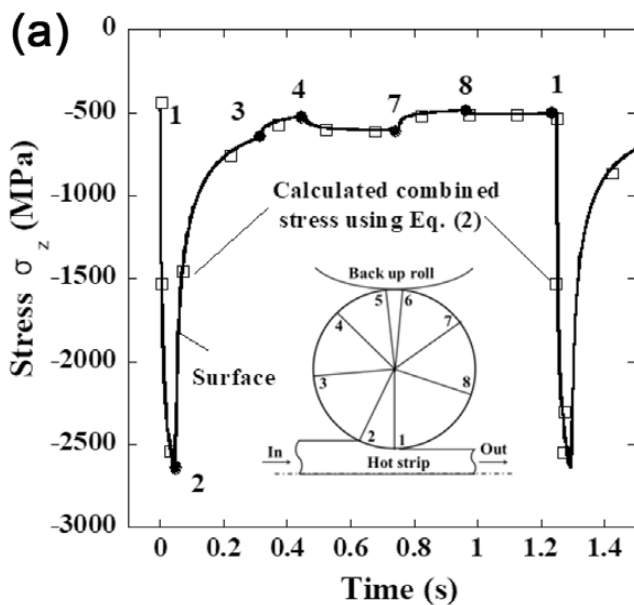
$$\sigma_z = \sigma_\theta = -\frac{\alpha E(T_{\text{Surface}} - T_{\text{Core}})}{1 - \nu}, \sigma_r = 0$$

که در آن T_{Surface} دمای سطح، T_{Core} دمای هسته، α ضریب انبساط حرارتی، E مدول یانگ و ν نسبت پواسون است. تنش های ترمو-الاستیک با معادله ۱ محاسبه می شوند که $T_s = 573^\circ\text{C}$ ، $T_{\text{Core}} = 30^\circ\text{C}$ ، $\alpha = 12/6 \times 10^6 (1/\text{K})$ ، $E = 210 \text{ GPa}$ و $\nu = 0/3$ است.

تنش های ترمو-الاستیک محاسبه شده نیز در شکل ۵a نشان داده شده است تا با تنش های حرارتی به دست آمده در شبیه سازی FEM مقایسه شود. از آنجایی که تنش در شکل ۵ شامل تنش پسماند عملیات حرارتی و تنش حرارتی است، همان تنش های پسماند عملیات حرارتی نیز به تنش های ترمو-الاستیک محاسبه شده در شکل ۵a اضافه می شود. مشخص شد که تنش ترکیبی به دست آمده در شبیه سازی FEM به خوبی با تنش محاسبه شده با خطای ۵ درصد برای حداکثر تنش مطابقت دارد. همین خطا در رفرنس نیز مشاهده و توضیح داده شده است. [۲۳] بنابراین، تایید می شود که آنالیز ترمو الاستیک قادر به پیش بینی تنش حرارتی است، اگرچه در واقع نمی تواند جایگزین آنالیز الاستیک _ پلاستیک شود. علاوه بر این، همچنین باید توجه داشت که تنش حرارتی کششی رخ نمی دهد زیرا دمای مرکز غلتک در مراحل اولیه نورد گرم کمتر از دمای سطح غلتک است. از آنجایی که فقط مرحله اولیه نورد گرم بررسی می شود، دمای اولیه غلتک کاری ۳۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته می شود. در واقع، دمای بدنه غلتک کاری می تواند به ۱۰۰ درجه سانتیگراد در شرایط نورد گرم برسد. [۱۴] با توجه به معادله ۱، تنش حرارتی کششی زمانی ایجاد می شود که $T_{\text{Core}} > T_{\text{Surface}}$ باشد. سیکل تنش کششی- فشاری یکی از پارامترهای مهم برای پیش بینی عمر خستگی غلتک کاری است. [۲۳، ۲۷] بنابراین، رفتار ترمو-الاستیک _ پلاستیک و نورد برای ارزیابی عمر خستگی غلتک کاری بررسی می شود.

شکل ۵b تغییرات تنش ترکیبی را در سطح غلتک در طول یک فرآیند نورد کامل تسمه نشان می دهد. حداکثر تنش ترکیبی سطح پس از پنج دور چرخش به ۲۶۵۰ مگاپاسکال می رسد. همانطور که بحث شد، حداکثر تنش ترکیبی ۲۶۵۰ مگاپاسکال شامل تنش پسماند عملیات حرارتی و تنش حرارتی است. شکل ۵c تاریخچه تنش در نزدیکی سطح غلتک را در طول یک فرآیند نورد تسمه، با در نظر گرفتن اعماق مختلف (از جمله $r/R = 0/995, 0/99, 0/98, 0/95$) در امتداد جهت شعاعی نشان می دهد. به طور مشابه با افزایش دما در نزدیکی سطح، افزایش تنش ترکیبی در عمق کمتر از نتایج در سطح است. شکل ۵d توزیع تنش σ_z را در زمان های مختلف در طول فرآیند نورد گرم نشان می دهد. مشاهده می شود که تنش کششی در مرکز غلتک پس از ۲۰ ثانیه به ۲۶۹ مگاپاسکال می رسد و پس از ۸۰ ثانیه در طی یک فرآیند نورد تسمه به ۲۹۷ مگاپاسکال افزایش می یابد. بنابراین، خطر شکست حرارتی در نزدیکی مرکز غلتک در مراحل اولیه فرآیند نورد گرم معمولی نسبتاً ناچیز است. (استحکام آلیاژ لایه دوم ۴۱۵ مگاپاسکال)

به منظور ارزیابی اثر ضرایب انتقال حرارت بر تنش های ترکیبی در مرکز غلتک، ضرایب مختلف انتقال حرارت از جمله h_{bite} در ناحیه کاری غلتک، h_{wiper} در مناطق خنک کننده افشانک ها و h_{water} در مناطق خنک کننده آب پاش ها مورد بحث قرار می گیرند. جدول



شکل ۵) میدان تنش ترکیبی σ_z در غلتک کاری در حین نورد گرم: الف) توزیع تنش ترکیبی σ_z در سطح در طول اولین چرخش نورد، ب) سابقه تنش ترکیبی σ_z در سطح غلتک در طول فرآیند نورد یک تسمه، ج) تاریخچه تنش ترکیبی σ_z در نزدیکی سطح غلتک، د) توزیع تنش ترکیبی σ_z در زمان های مختلف نورد.

۵- ارزیابی شکست حرارتی در غلتک کاری در حین نورد گرم
 شکست حرارتی در غلتک کاری ارتباط نزدیکی با حداکثر اختلاف دما بین سطح و مرکز غلتک دارد. اختلاف دمای بالا ممکن است به دلیل نرخ گرمایش بالا در سطح غلتک که به دلیل سیستم های خنک کننده آب ضعیف، خرابی سیستم های خنک کننده آب، یا توان عملیاتی بالا در ابتدای کار نورد ایجاد شود. بدتر از آن، در برخی از حوادث نورد، گیر افتادن محصول در کالیبر منجر به توقف نورد و گرم شدن موضعی سطح غلتک می شود. در نورد گرم غیرعادی

۴ ضریب انتقال حرارت در نظر گرفته شده در این مطالعه و تنش های ترکیبی در مرکز و سطح غلتک را پس از ۸۰ ثانیه نشان می دهد. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است، مشابه نتایج موجود در منابع [۱۳، ۱۴] ضرایب انتقال حرارت تأثیر قابل توجهی بر دمای حداکثر سطح دارد. با این حال، تنش های ترکیبی در مرکز و سطح غلتک تقریباً بدون تغییر با ضرایب مختلف انتقال حرارت است. بنابراین تأیید می شود که ضرایب انتقال حرارت تأثیر کمی بر تنش های ترکیبی در مرکز غلتک در مراحل اولیه نورد گرم دارد.

تقریباً بدون تغییر است. از این رو، بر اساس شکل ۶a، اختلاف دما در طی فرآیندهای نورد گرم غیرعادی به طور قابل توجهی گسترده تر بوده است.

شکل ۶b مقایسه توزیع تنش ترکیبی در فرآیندهای نورد گرم غیرعادی را نشان می دهد. تنش ترکیبی کششی در مرکز غلتک تا ۴۲۳ مگاپاسکال در حالت عادی و در حوادث نورد به ۵۱۰ مگاپاسکال می رسد. در مقایسه با استحکام آلیاژ لایه دوم ۴۱۵ مگاپاسکال، تنش های کششی ترکیبی (۴۲۳ مگاپاسکال یا ۵۱۰ مگاپاسکال) باعث شکستگی حرارتی می شود. بنابراین، اگر خرابی سیستم های خنک کننده به موقع پیدا و رفع نشود، شکست حرارتی غلتک کاری به طور ناگهانی رخ می دهد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، ارزیابی شکست حرارتی غلتک کاری دو لایه در مراحل اولیه نورد گرم تسمه بر اساس شبیه سازی FEM انجام شد. تنش های ترکیبی با در نظر گرفتن تنش پسماند عملیات حرارتی پس از تمپر و تنش حرارتی در طول نورد گرم پیش بینی شدند. علاوه بر این، این مقاله اثرات ضرایب حرارتی و نورد گرم غیرعادی بر تنش های ترکیبی را مورد بحث قرار داد. نتایج تحقیق حاضر را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱) در مقایسه با نتیجه میزان تنش در دمای کوئنچ کردن معمولی $T_{Conventional}$ ، تنش پسماند مرکز در دمای کوئنچ کردن بالاتر ۸/۹٪ افزایش می یابد و در دمای کوئنچ کردن پایین تر ۱۴/۹٪ T_{Low} کاهش می یابد.

۲) دمای سطح به سرعت در ناحیه کاری غلتک افزایش می یابد و در اثر مواجه شدن با افشانک ها و خنک کننده های بعدی به سرعت کاهش می یابد. حداکثر دمای سطح در ۵۸۳ درجه سانتیگراد پس از پنج دور نورد ثابت بوده است، در حالی که هیچ دمای حداکثر پایداری در زیر سطح وجود ندارد.

۳) نتایج شبیه سازی تنش های ترمو-الاستیک در سطح غلتک با

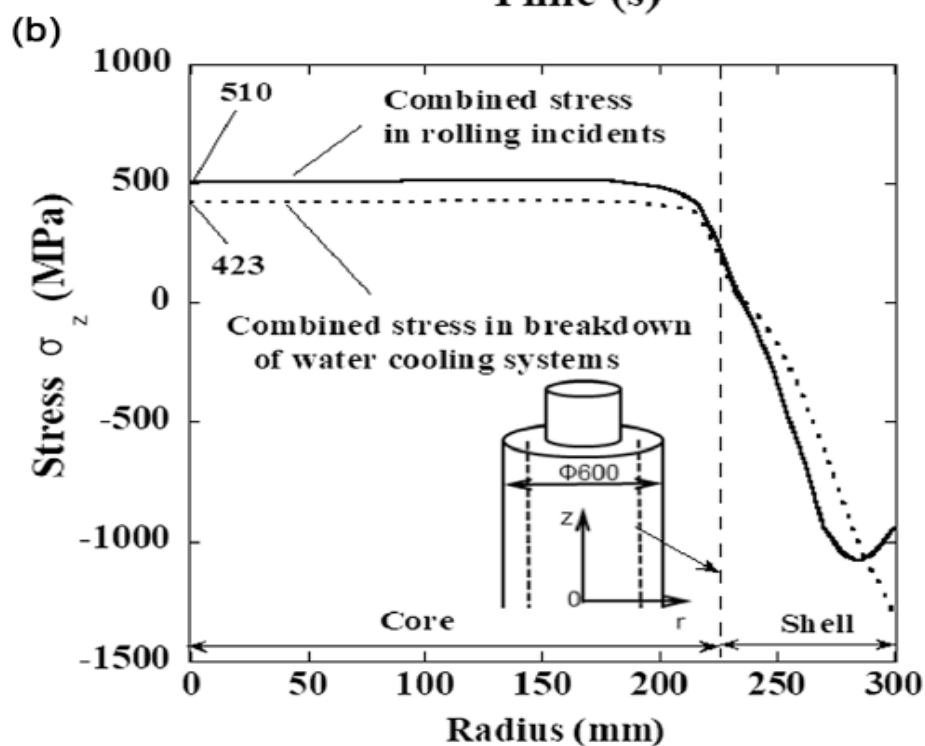
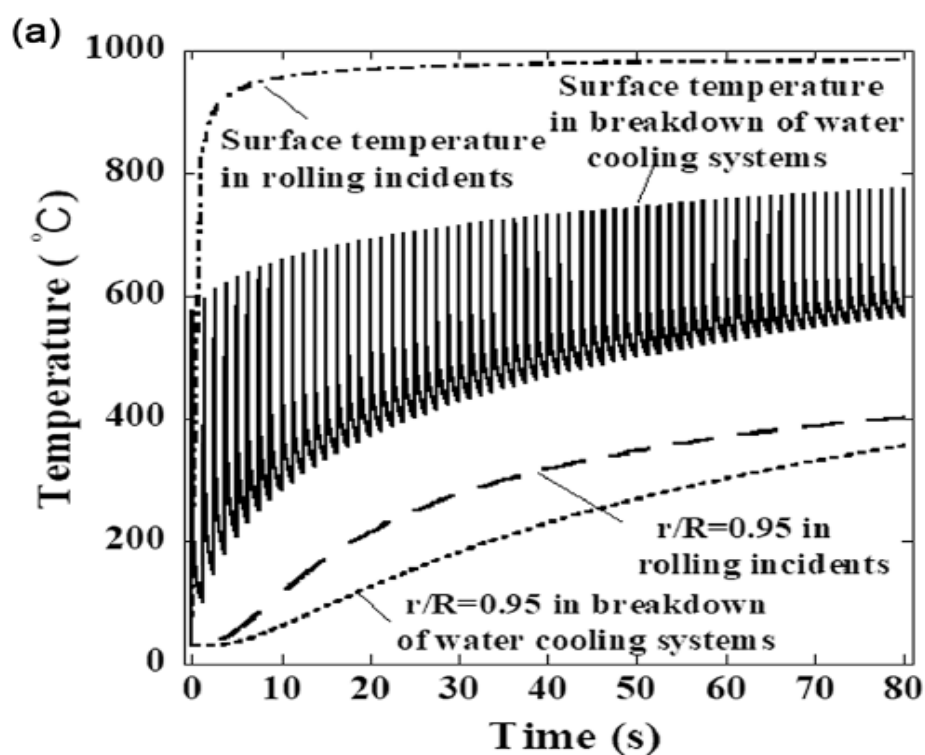
که قبلاً ذکر شد، تنش های حرارتی کششی بالا در مرکز غلتک رخ می دهد. در همان زمان، تنش پسماند عملیات حرارتی کششی به تنش حرارتی کششی در مرکز غلتک اضافه می شود و تنش ترکیبی را تشکیل می دهد. هنگامی که تنش کششی ترکیبی از استحکام آلیاژ بیشتر شد، شکستگی حرارتی غلتک کاری ممکن است به طور ناگهانی رخ دهد. تایید شده است که تنش ترکیبی ۲۹۷ مگاپاسکال در مرحله اولیه یک نورد گرم معمولی بسیار کمتر از مقاومت آلیاژ لایه دوم است. بنابراین، شکست حرارتی در شرایط نورد گرم غیرعادی مورد بحث قرار می گیرد.

در این مطالعه، شرایط نورد گرم غیرعادی به خرابی سیستم های خنک کننده آبی و حوادث نورد تقسیم می شود. ابتدا، شبیه سازی خرابی سیستم های خنک کننده آب به سادگی تماس محصول گرم و خنک کننده هوا را در شرایط مرزی حرارتی اعمال می کند. سپس، شبیه سازی حوادث نورد، تماس های محصول نورد گرم را به عنوان شرایط مرزی حرارتی اعمال می کند. زمان شبیه سازی در دو حالت ۸۰ ثانیه است که زمان یک فرآیند کامل نورد تسمه است.

شکل ۶a تغییرات دما در سطح غلتک و عمق $r/R = 0/95$ را در هر دو تجزیه و تحلیل سیستم های خنک کننده غلتک و حوادث نورد نشان می دهد. همانطور که در شکل ۶a نشان داده شده است، دمای پیک سطح غلتک در طول زمان نورد با وجود سیستم های خنک کننده آب افزایش می یابد. در مقابل، شدت افزایش دمای سطح در طول زمان نورد کاهش می یابد. در پایان نورد گرم، حداکثر دما در سطح غلتک به ۷۷۴ درجه سانتیگراد و در عمق $r/R = 0/95$ به ۳۵۶ درجه سانتیگراد می رسد. در حوادث نورد، دمای سطح به طور قابل توجهی افزایش می یابد تا زمانی که حداکثر دما به ۹۵۱ درجه سانتیگراد برسد و دما در عمق $r/R = 0/95$ به تدریج افزایش می یابد تا حداکثر دما تا ۴۰۲ درجه سانتیگراد برسد. در فرآیند نورد گرم غیرعادی، دمای سطح و زیر سطح به طور قابل توجهی افزایش می یابد و عمق نفوذ حرارتی می تواند تا ۱۰۰ میلی متر باشد. با این حال، دمای نزدیک به مرکز غلتک در دمای اولیه ۳۰ درجه سانتیگراد

Simulations	Heat transfer coefficient ($\text{kW m}^{-2} \cdot \text{K}$)				Maximum surface temperature ($^{\circ}\text{C}$)		Combined stress σ_z after 80 s (MPa)	
	h_{bite}	h_{water}	h_{wiper}	h_{air}	T_{max}	σ_{center}	$\sigma_{surface}$	
1	49.5	35	15	0.005	583	298	-522	
2	55	35	15	0.005	604	305	-532	
3	45	35	15	0.005	556	289	-508	
4	49.5	40	15	0.005	578	291	-507	
5	49.5	30	15	0.005	579	293	-513	
6	49.5	35	20	0.005	577	286	-492	
7	49.5	35	10	0.005	581	300	-526	

جدول (۴) اثرات ضریب انتقال حرارت بر تنش های ترکیبی در مرکز و سطح غلتک.



شکل ۶. ارزیابی شکست حرارتی غلتک کاری در هنگام نورد گرم غیرعادی: الف) تاریخچه دما در سطح غلتک و در عمق $r/R = 0.95$ در شکست سیستم های خنک کننده آب و حوادث نورد، ب) توزیع تنش ترکیبی σ_z .

Ta, Q. Zhu, C. Kong, Q. Wu, *Int. J. Mech. Sci.* 2017, 131–132, 811.

[15] Y. Sano, T. Hattori, M. Haga, *ISIJ Int.* 1992, 32, 1194.

[16] K. H. Schroder, *A Basic Understanding of the Mechanics of Rolling Mill Rolls*, Eisenwerk Sulzau-Werfen, ESW-Handbook, Tenneck, Austria 2003, p. 71.

[17] CAFE, *Roll Failures Manual: Hot Mill Cast Work Rolls*, The European Foundry Association, Roll Section, Düsseldorf, German 2002, p. 19.

[18] N.-A. Noda, K. Hu, Y. Sano, K. Ono, Y. Hosokawa, *Steel Res. Int.* 2016, 87, 1478.

[19] N.-A. Noda, K. Hu, Y. Sano, K. Ono, Y. Hosokawa, *Steel Res. Int.* 2016, 83 DOI: 10.1002/srin.201600165.

[20] H. G. Fu, H. J. Zhao, Z. Z. Du, Z. J. Feng, Y. P. Lei, Y. Zhang, M. W. Li, Y. H. Jiang, R. Zhou, H. X. Guo, *Ironmaking Steelmaking* 2011, 38, 338.

[21] H. G. Fu, X. L. Chen, Z. Z. Du, Y. P. Lei, Z. J. Feng, *China Foundry* 2009, 6, 15.

[22] G. Y. Deng, Q. Zhu, K. Tieu, *J. Mater. Process. Technol.* 2017, 240, 200.

[23] D. Benasciutti, *J. Strain Anal. Eng. Des.* 2012, 47, 297.

[24] S. Serajzadeh, *Int. J. Adv. Des. Manuf. Technol.* 2008, 35, 859.

[25] J. H. Gao, C. Q. Huang, M. Wang, J. P. Huang, *Mater. Mech. Eng.* 2009, 33, 46.

[26] S. Timoshenko, J. N. Goodier. *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, New York 1951.

[27] M. Raudensky, J. Horsky, J. Ondrouskova, B. Vervaet, *Steel Res. Int.* 2013, 84, 269.

نتایج محاسباتی با استفاده از معادله ۱ مطابقت دارد. تنش کششی ترکیبی در طول فرآیند نورد معمولی تسمه به ۲۹۷ مگاپاسکال در مرکز غلتک می‌رسد. ضرایب انتقال حرارت تأثیر بسیار کمی بر تنش ترکیبی در مرکز غلتک دارد.

۴) تنش‌های کششی ترکیبی در مرکز غلتک به دلیل اختلاف دما بیشتر در طی فرآیندهای نورد گرم غیرعادی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. تنش‌های کششی ترکیبی در مرکز غلتک می‌تواند باعث شکستگی حرارتی در غلتک کاری شود.

۷- منابع و مراجع

- [1] N. F. Garza-Montes-De-Oca, W. M. Rainforth, *Wear* 2009, 267, 441.
- [2] R. D. Mercado-Solis, J. Talamantes-Silva, J. H. Beynon, M. A. L. Hernandez-Rodriguez, *Wear* 2007, 263, 1560.
- [3] R. D. Mercado-Solis, J. H. Beynon, *Scand. J. Metall.* 2010, 34, 175.
- [4] R. Colás, J. RamíR ez, I. Sandoval, J. C. Morales, L. A. Leduc, *Wear* 1999, 230, 56.
- [5] Y. Sano, K. Kimura, *Tetsu- to- Hagane* 1987, 73, 1154.
- [6] C. F. Onisa, D. C. J. Farrugia, *Int. J. Mater. Form.* 2008, 1, 363.
- [7] M. Hinnemann, P. J. Mauk, V. Goryany, C. Zybilla, R. Braun, *Key Eng. Mater.* 2014, 622, 949.
- [8] R. M. Guo, *Trans. ASME J. Manuf. Sci. Eng.* 1998, 120, 28.
- [9] C. S. Li, X. H. Liu, G. D. Wang, X. M. He, *Mater. Sci. Technol.* 2013, 18, 1147.
- [10] J. D. Lee, M. T. Manzari, Y. L. Shen, W. Zeng, *Trans. ASME J. Manuf. Sci. Eng.* 2000, 122, 706.
- [11] D. Benasciutti, E. Brusa, G. Bazzaro, *Procedia Eng.* 2010, 2, 707.
- [12] A. Sonboli, S. Serajzadeh, *Mater. Sci. Technol.* 2013, 26, 343.
- [13] G. Y. Deng, H. T. Zhu, A. K. Tieu, Q. Zhu, L. H. Su, M. Reid, P. T. Wei, L. Zhang, H. Wang, J. Zhang, J. T. Li, T. D. Ta, Q. Wu, *Mater. Sci. Forum* 2017, 904, 55.
- [14] G. Y. Deng, H. T. Zhu, A. K. Tieu, L. H. Su, M. Reid, L. Zhang, P. T. Wei, X. Zhao, H. Wang, J. Zhang, J. T. Li, T. D.

اخبار ایران و جهان

اخبار ایران

رشد تولید کنسانتره و گندله در فولاد سنگان

معاون بهره‌برداری شرکت فولاد سنگان گفت: شرکت فولاد سنگان در ۶ ماه نخست سال جاری، موفق به ثبت دو رکورد در رشد ۹۰ درصدی تولید کنسانتره و ۱۴ درصدی تولید گندله شد.

به گزارش پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» و به نقل از روابط عمومی شرکت صنایع معدنی فولاد سنگان، این شرکت در سال جاری رکوردهای تولید قابل توجهی را در کارخانه گندله و کنسانتره ثبت کرده است. کارخانه گندله‌سازی این شرکت با بیش از ۲۰ درصد از ظرفیت اسمی خود فعالیت داشته است و تولید در کارخانه کنسانتره‌سازی نیز علی‌رغم وجود مشکلات جاری، توانسته است از ظرفیت اسمی عبور کند.

معاون بهره‌برداری شرکت فولاد سنگان با اشاره به روند روبه‌رشد تولید در این شرکت، بیان کرد: فولاد سنگان در ۶ ماه نخست امسال، با وجود مشکلات ناشی از قطعی خطوط برق و چالش‌های متاثر از آن، موفق به تولید بیش از دو میلیون و ۳۰۰ هزار تن گندله شد که نسبت به مدت مشابه سال قبل، روند رشد بیش از ۱۴ درصد را نشان می‌دهد و بدون شک این نکته مهم را در پی دارد که رشد تولید در سایه رکوردها تحقق یافته است.

وی مطرح کرد: همکاران توانمند و جهادگر ما موفق به ثبت سه رکورد تولید ماهیانه گندله طی این مدت شده‌اند که نتیجه این کار تیمی، به تولید بیش از ۵۸۰ هزار تن گندله در شهریور ماه انجامید و البته بالاترین میزان رشد تولید ماهیانه در ۶ ماهه اول سال جاری میلادی، در تیر ماه به دست آمد که نسبت به مدت مشابه سال قبل، ۱۰۲ درصد میزان تولید گندله شرکت افزایش یافت. گفتنی است بالاترین رکورد تولید روزانه گندله به میزان ۲۰ هزار و ۴۰۰ تن رسیده است.

معاون بهره‌برداری فولاد سنگان ابراز کرد: فولاد سنگان به عنوان عضوی از گروه پرافتخار فولاد مبارکه و به عنوان تامین‌کننده بخشی از گندله شرکت فولاد مبارکه، با همت کارکنان خود توانست رشد کلی ۹۰ درصدی در تولید کنسانتره و رشد ۱۴ درصدی در افزایش تولید گندله در هشت ماه سال ۱۴۰۱ را نسبت به مدت مشابه سال قبل به دست آورد که این مهم فقط با همت و تلاش کارکنان خدوم و پشتیبانی و همراهی مدیریت ارشد این شرکت محقق شد.

وی با اشاره به رشد قابل توجه تولید کنسانتره و گندله تاکنون، اذعان کرد: خوشبختانه تولید کنسانتره و گندله تا پایان مهر ماه سال جاری، رشد قابل توجهی را تجربه کرده است و آمارهای تولیدی، به ترتیب به میزان ۲۳۱ هزار تن و ۵۱۷ هزار تن بوده که رشد ۵۸ درصدی تولید کنسانتره و رشد ۱۰ درصدی تولید گندله را نسبت به مشابه سال نشان می‌دهد.

وی در ادامه به هدف‌گذاری تولید در فولاد سنگان اشاره کرد و گفت: کارکنان باغیرت در شرکت صنایع معدنی فولاد سنگان، بر این باورند که می‌توانیم در سال «تولید، دانش‌بنیان و اشتغال‌آفرین» برای نخستین بار پس از بهره‌برداری، به تولید پنج میلیون تن گندله دست پیدا کنیم.

معاون بهره‌برداری فولاد سنگان از رشد تولید در آبان ماه ۱۴۰۱ خبر داد و خاطر نشان کرد: در ادامه مسیر تولید با کیفیت و مستمر، در آبان ماه نیز با تولید بیش از ۲۴۵ هزار تن کنسانتره شاهد رشد بیش از ۵۰ درصدی نسبت به مشابه سال قبل بودیم و این در حالی است که تولید کنسانتره در مدت مشابه سال قبل، حدود ۱۷۱ هزار تن بوده است.

وی تاکید کرد: این روند تولید در کارخانه گندله‌سازی نیز با تولید بیش از ۴۷۱ هزار تن در آبان ماه همراه بوده است که میزان تولید در

مدت زمان مشابه سال قبل، بیش از ۴۶۵ هزار تن بوده و رشد حدود ۱.۵ درصدی را به ثبت رسانده است.

وی در پایان یادآور شد: امیدواریم با تکیه بر لطف الهی، تلاش و توکل، شاهد اعتلای کشور در تمامی امور از جمله صنعت و اقتصاد باشیم.

افزایش ۱۸ دلاری قیمت آلومینیوم

قیمت آلومینیوم در بورس فلزات لندن در روز سه‌شنبه اول آذر ماه ۱۴۰۱، با رشد ۲/۱ درصدی نسبت به روز معاملاتی قبل از آن، به دو هزار و ۳۹۴ دلار رسید. به گزارش پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین»، همان‌طور که در نمودار ۱ آمده است، قیمت آلومینیوم در بورس فلزات لندن، دیروز سه‌شنبه اول آذر ماه، نسبت به آخرین معاملات انجام شده (دوشنبه، ۳۰ آبان ماه)، رشد ۲/۱ درصدی معادل ۵۰ دلار را تجربه کرد. به گونه‌ای که در روز دوشنبه ۳۰ آبان ماه، آلومینیوم دو هزار و ۳۴۴ دلار به ازای هر تن قیمت‌گذاری شد و قیمت آن دیروز به دو هزار و ۳۹۴ دلار به ازای هر تن رسید. قیمت آلومینیوم در بورس فلزات لندن نسبت به هفته قبل، با افت ۰/۷ درصدی معادل ۱۶ دلار، از دو هزار و ۴۱۰ دلار به ازای هر تن، به دو هزار و ۳۹۴ دلار به ازای هر تن رسیده است. موجودی آلومینیوم در انبارهای بورس فلزات لندن در روز سه‌شنبه اول آذر ماه، با کاهش چهار هزار و ۹۲۵ تنی، از ۵۲۲ هزار تن به ۵۱۷ هزار و ۷۵ تن رسیده است.

سرب کالای برتر شناخته شد

فلز سرب بیست و چهارمین کالایی خواهد بود که در شاخص کالای بلومبرگ «BCOM» قرار می‌گیرد و به لیست فلزات برتر دیگر همچون آلومینیوم، مس، نیکل و روی در بورس فلزات لندن «LME» اضافه می‌شود.

به گزارش پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» و به نقل از «Reuters»، قیمت سه ماهه سرب بورس فلزات لندن در اخبار روز چهارم ماه نوامبر، ۱۰ درصد افزایش داشت و به حدود دو هزار و ۱۹ دلار و ۵۰ سنت در هر تن رسید. هرچند از آن زمان تاکنون، به حدود یک هزار و ۹۶۵ دلار کاهش یافته است.

این تغییرات کمی شتاب‌آمیز به نظر می‌رسد که قابل درک است؛ اگرچه سرب تنها سهم ۰.۹۳۶ درصد ارزش‌گذاری در شاخص مورد نظر خواهد داشت که کمترین میزان در بین فلزات اساسی است اما این اعتبار می‌تواند به عنوان معیاری برای ترویج سرمایه‌گذاری در بازار این فلز از ابتدای سال آینده تلقی شود.

نکته مهم دیگری که باید به آن اشاره داشت، تصور نادرست استفاده گستره از باتری‌های سرب اسید بود که اکنون جای خود را به باتری‌های لیتیومی که در خودروهای الکتریکی نیز به وفور استفاده می‌شود، داده است. با این حال، گزارش‌های مکرر درباره منسوخ شدن سرب همچنان اغراق‌آمیز به نظر می‌رسد.

سرب فلزی منسوخ شده نیست

رئیس بخش سرب و روی در شرکت «Wood Mackenzie» با اظهار تاسف عنوان کرد که یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها به عنوان تحلیل‌گر در بازار سرب این است که مردم مدام به شما می‌گویند که سرب فلزی منسوخ شده است.

با این حال، همان‌طور که وی در سمینار تحقیقاتی سالانه هفت روزه بورس فلزات لندن توضیح داد، از ۸۰ میلیون وسیله نقلیه تولید شده در سال گذشته، همگی دارای باتری سرب اسیدی بودند و این موضوعی است که مردم آن را نادیده گرفته‌اند.

البته این آمار، هشت میلیون وسیله نقلیه الکتریکی تولید شده را نیز شامل می‌شود. یک واقعیت نادیده گرفته شده درباره فلزات استفاده شده مانند لیتیوم و کبالت در باتری خودروهای الکتریکی جدید این است که این خودروها دارای یک باتری سرب پشتیبان برای سیستم‌های ایمنی و تامین انرژی سیستم‌های صوتی تصویری داخل خودرو هستند.

موضوع دیگری که باید به آن اشاره کرد، این است که باتری‌های سرب اسیدی هر چند سال یک بار نیاز به تعویض دارند. در همین راستا و با توجه به عمر متوسط خودروها که بین ۱۳ تا ۱۴ سال است، حدود ۸۰ میلیون خودروی تولید شده در سال گذشته در اوایل دهه آینده به باتری‌های جایگزین نیاز خواهند داشت.

با توجه به مشخصات سرب، کاربرد این فلز رشد به نسبت ثابتی را تجربه کرده است که ناشی از نیاز به پاسخ‌گویی به حجم تقاضا برای باتری‌های جایگزین در ناوگان حمل‌ونقل جهانی در حال رشد است.

اهمیت اقتصادی

بر اساس گزارش گروه بین‌المللی مطالعات سرب و روی، حجم عرضه برای مطابقت با حجم تقاضا افزایش یافته است و تولید جهانی سرب تصفیه شده از ۱۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۰، به ۱۲ میلیون و ۳۸۰ هزار تن در سال گذشته افزایش پیدا کرده است.

گروه بین‌المللی مطالعات سرب و روی، میانگین پنج ساله داده‌های تولید و ارزش مبادلات را در نظر گرفته است تا نوع کالاها و ارزش‌گذاری آن‌ها را مشخص کند.

در این بین، کالاهای منتخب باید در اقتصاد جهانی مهم تلقی شوند و ارزشی را که بازارهای مالی برای آن‌ها در نظر گرفته‌اند، منعکس کنند.

بر اساس بیانیه خبرگزاری بلومبرگ، حجم تولید جهانی سرب در پنج سال گذشته با در نظر گرفتن کاهش ارزش معاملات، به اندازه کافی رشد کرده که حاکی از اهمیت بالای این فلز است.

گروه بین‌المللی مطالعات سرب و روی، ارزش فلزات پایه را با اشاره به معاملات سرب بورس فلزات لندن تعیین کرد که شاهد کاهش ۳/۸ درصدی حجم معامله طی سال گذشته در کنار ۷/۷ درصد کاهش بیشتر در ۹ ماهه اول سال جاری بود.

عملکرد سرب را باید در چارچوب کاهش ۴/۷ درصدی کل حجم بورس فلزات لندن در سال گذشته و افت گسترده‌تر فعالیت پس از

کاهش شدید معاملات نیکل در مارس امسال مشاهده کرد. با این حال، فعالیت مرتبط تجاری ضعیف نیز نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب سرب نسبت به فلز روی است. همچنین حجم معاملات روی بورس فلزات لندن، بیش از دو برابر سرب است؛ هرچند که حجم تولید جهانی روی تصفیه شده، تنها اندکی بیشتر از ۱۳ میلیون و ۸۵۰ هزار تن در سال گذشته بود.

مسیر ناهموار

با توجه به اینکه تقاضای باتری جایگزین، حدود نیمی از مصرف جهانی سرب در سال را به خود اختصاص داده است و بازیافت آن حدود ۶۰ درصد حجم عرضه را شامل می‌شود، شتاب رشد بازار سرب کاملاً متفاوت از سایر فلزات صنعتی خواهد بود.

باتری‌ها در زمان‌های افت و خیز در بازار وضعیت نامطلوبی را تجربه می‌کنند؛ بدین معنا که سرب تا حدی از چرخه اقتصادی در بازار خود را مجزا کرده و روند نزولی کمتری نسبت به سایر فلزات بورس فلزات لندن را به ثبت رسانده است.

به عبارت دیگر، بازار سرب می‌تواند کمی نامطلوب به نظر برسد اما در حال حاضر این گونه نیست. هر چند این فلز درست زمانی که قرار است به فهرست برترین فلزات اضافه شود، در حال گذر از یک دوره آشفستگی است.

بر اساس گزارش گروه بین‌المللی مطالعات سرب و روی، انتظار می‌رفت فلز سرب افزایش ۱/۳ درصدی را در ماه آوریل تجربه کند و در همین راستا وجود وقفه غیرمترقبه در ذوب و عرضه آن، باعث شد مقدار تولید جهانی سرب پالایش شده در سال ۲۰۲۲ به میزان ۰/۳ درصد کاهش یابد.

روند عرضه در اروپا به دلیل وقوع سیل و قطعی مقطعی یک ساله برق در کارخانه استولبرگ آلمان، از دست دادن سهم واردات از روسیه به دلیل تحریم‌های اتحادیه اروپا و ایجاد وقفه در فعالیت ظرفیت‌های تولید سرب از قراضه در ایتالیا آسیب دیده است.

گروه بین‌المللی مطالعات سرب و روی به کاهش تولید در آمریکای شمالی، ترکیه، کره جنوبی و استرالیا اشاره کرد و دلیل آن را برنامه تعمیر و نگهداری از پیش برنامه‌ریزی شده در واحد ذوب «Nyrstar's Port Pirie» عنوان کرد که روند تولید را برای دو ماه در فصل چهارم سال در این واحد متوقف کرد.

این گروه بین‌المللی اکنون کسری عرضه جهانی ۸۳ هزار تن در سال جاری و ۴۲ هزار تن دیگر در سال ۲۰۲۳ قبل از اینکه واحدهای ذوب به حجم عرضه مطابق با تقاضا دست یابند را پیش‌بینی می‌کند. در همین رابطه باید عنوان کرد که حجم ذخایر انبار بورس فلزات لندن، معدل ۲۷ هزار و ۶۲۵ تن بوده که بسیار محدود است و معادل کمتر از یک روز حجم مصرف جهانی به شمار می‌آید و این اتفاق باعث افزایش اختلاف قیمت‌ها خواهد شد. در همین رابطه اختلاف قیمت نقدی نسبت به قیمت سه ماهه این فلز به ۴۸ دلار و ۵۰ سنت

در هر تن در ماه گذشته افزایش یافت که بیشترین میزان در سال جاری بوده است.

به علاوه پرمیوم بازار فیزیکی در بالاترین حد خود قرار دارد. موسسه «Fastmarkets» پرمیوم شمش سرب با شرط تحویل در ایالت‌های غرب میانه آمریکا را حدود ۲۲/۵ سنت در هر پوند (۴۹۶ دلار آمریکا در هر تن) نسبت به قیمت نقدی بورس فلزات لندن ارزیابی کرد.

به همین دلیل کمبود عرضه در غرب می‌تواند با حجم صادرات از چین تامین شود. کشور چین در دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰، یک واردکننده خالص بود اما سال گذشته با اجرای ۹ طرح توسعه‌ای سه هزار تنی ظرفیت تولید، به یک صادرکننده خالص تبدیل شد. هرچند حجم صادرات خالص در ۹ ماهه اول سال جاری، از ۹۲ هزار تن نیز فراتر رفته است.

انتظار می‌رود این روند در چین تا زمانی که عرضه و تقاضا در بازارهای غربی متعادل شود، ادامه داشته باشد. از این دوران برای سرب می‌توان به عنوان دوران ایستا نام برد که شرایط را برای ایجاد زمینه‌های سرمایه‌گذاری و خرید این فلز فراهم کرد که این اتفاق افزایش خرید سرب با فرا رسیدن فصل زمستان در نیمکره شمالی خواهد بود. با در نظر گرفتن این موضوع که هوای سرد تاثیر نامطلوبی بر عملکرد باتری‌ها دارد، این امر می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را در این فصل برای باتری‌ها به وجود آورد که به نفع عرضه‌کنندگان سرب تصفیه شده خواهد بود. این موضوع، یکی دیگر از ویژگی‌های متمایز و منفی فلز سرب است که تا به حال راه چاره‌ای برای آن پیدا نشده است.

پایگاه خبری فلزات آنلاین، آذر ۱۴۰۱

اخبار جهان

اخبار جهان

افت قیمت سنگ آهن تا احیای اقتصاد چین، بیشتر خواهد شد

سنگ آهن، یکی از کالاهایی است که عملکرد ضعیفی در سال جاری داشته است و کاهش قیمت این ماده معدنی تا زمانی که اقتصاد چین احیا شود، بیشتر خواهد شد.

به گزارش پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلاین» و به نقل از «Bloomberg»، معاملات آتی در سنگاپور به مدت هفت ماه متوالی روند نزولی داشته است که بدترین دوره از زمان آغاز این معاملات در سال ۲۰۱۳ است. قیمت سنگ آهن، حدود یک سوم بالاترین رکورد قیمت ثبت شده خود در ماه می سال گذشته و در حدود ۸۱ دلار در هر تن است.

چین با فاصله، بزرگترین خریدار سنگ آهن از استرالیا و برزیل است و این ماده معدنی در تولید سالانه فولاد به کار برده می شود. حجم واردات سنگ آهن طی دو سال گذشته، بیش از یک میلیارد تن بوده است. سنگ آهن، یکی از مواد اولیه تعیین کننده در اقتصاد چین به شمار می رود. این ماده معدنی علی رغم نوسانات بازار املاک و قرنطینه های شدید اعمال شده دولت چین در دوران اوج ویروس کرونا، همچنان یکی از پر استفاده ترین کالاها در چین شناخته می شود.

در عین حال، امیدها به بهبود شرایط در پاییز سال جاری یعنی فصل اوج فعالیت های ساخت و ساز در چین، با پایان کنگره حزب کمونیست در ماه اکتبر از بین رفت. در همین رابطه، نشست استی که هر پنج سال یک بار برگزار می شود هم نتوانست آن طور که باید بر بهبود در وضعیت بخش املاک و مستغلات تاثیر مثبت بگذارد. به

علاوه این نشست نتوانست مسیری مشخص را از میان انبوه قوانینی که برای رسیدن به کووید صفر تعیین شده است، ارائه کند. به همین سبب این مسئله باعث شد که روند تقاضا برای اکثر کالاها کاهش یابد و موجب اختلال در فعالیت های کسب و کارها، کارخانه ها و صنعت ساخت و ساز شود.

گاوبین وندت، مدیر موسسه «MineLife Pty» مستقر در سیدنی استرالیا مطرح کرد که هنوز در مورد زمان پایان قرنطینه های سخت گیرانه دولت چین به خاطر گسترش ویروس کرونا، بیانه ای ارائه نشده است و هیچ طرح کلی دقیقی نیز از اقدامات اقتصادی چین برای تقویت اقتصاد این کشور وجود ندارد. این بدان معناست که جنبه های منفی این مسئله همچنان قابل لمس است.

وی افزود که این موضوع، موجب فشار بر کارخانه های فولاد و کاهش حاشیه سود آنها خواهد شد و این روند به احتمال فراوان ادامه داشته باشد.

در همین رابطه، صنعت فولاد چین از تابستان نسبت به وقوع یک بحران هشدار داد. همچنین در سه ماهه سوم سال جاری، کارخانه های بزرگ اولین زیان کلی خود را از زمان شروع جمع آوری داده ها توسط خبرگزاری بلومبرگ در سال ۲۰۱۸ متحمل شدند. در پاسخ به این موضوع، کارخانه ها حجم خرید سنگ آهن خود را کاهش دادند.

کندی رشد اقتصاد جهانی، منجر به از دست رفتن فرصت ها برای شرکت های فولادسازی شد و برای برون رفت از این اوضاع، آنها تصمیم به صادرات گرفتند. به همین دلیل اقداماتی جهت کاهش آلاینده ها در زمستان و اعمال محدودیت های دولتی روی حجم تولید سالانه فولاد برای محدود کردن انتشارات کربن، منجر به ایجاد فضایی

ابهام‌آلود در مورد روند تقاضا در ماه‌های آینده خواهد شد. شرکت خدمات مالی و بانکداری «UBS AG» سوئیس پیش‌بینی می‌کند که اگر مقامات دولتی هدف خود را برای کاهش تولید سالانه در سال ۲۰۲۲ اجرایی کنند، حجم تولید روزانه فولاد در چین در سه ماهه چهارم سال جاری، حدود ۵ درصد در مقایسه با نرخ تولید در ماه سپتامبر کاهش خواهد یافت.

بر اساس گزارش موسسه «Gavekal Dragonomics»، مصرف فولاد ۳۹ درصد از بازار املاک چین را تشکیل می‌دهد. این بخش بیش از یک سال است که پس از دخالت دولت چین به منظور کاهش تورمی که آن را حباب اقتصادی می‌نامید، به شدت در حال کاهش است. البته وضعیت به وجود آمده به این زودی‌ها بهبود نمی‌یابد و این در حالی است که طی ماه گذشته، میزان فروش ۱۰۰ شرکت برتر ۲۸ درصد افت را تجربه کردند. طبق آخرین نظرسنجی در ارزیابی شاخص مدیران خرید، علی‌رغم صرف هزینه‌های زیرساختی دولت به منظور حمایت اقتصادی برای جبران برخی از زیان‌های فولادسازان و با وجود واحدهای تولیدی بزرگ‌تر در چین، این صنعت همچنان با مشکلات عدیده‌ای دست و پنجه نرم می‌کند.

افت شدید تقاضای سنگ‌آهن در تضاد با افزایش این روند برای سایر فلزات مورد استفاده در صنعت ساخت‌وساز مانند مس و آلومینیوم که به منظور گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر در خلال عدم حضور پر رنگ سوخت‌های فسیلی به کار می‌روند، است. به علاوه در روند عرضه مس و آلومینیوم مشکلاتی وجود دارد. البته باید به این مسئله اشاره کرد که سرمایه‌گذاری در معادن مس، همچنان با ضعف‌هایی روبه‌رو است؛ در حالی که سهمیه‌بندی و کمبود برق ناشی از موج گرما و جنگ در اوکراین، باعث افزایش قیمت فلز آلومینیوم شده است.

در همین رابطه، شرایط برای سنگ‌آهن کمی متفاوت‌تر است؛ چراکه معدنچیان بزرگ توانسته‌اند در سال‌های اخیر در کاهش هزینه‌های خود بسیار موفق عمل کنند و هیچ عاملی باعث توقف در روند عرضه آن‌ها نشده است. به عنوان مثال، هزینه تولید برای شرکت استخراج معادن و فلزات ریوتینتو در معدن پیلبارا، حدود ۲۰ دلار در تن است. تمرکز بالا بر بهره‌وری باعث شد وقتی قیمت سنگ‌آهن در سال ۲۰۱۵ به پایین‌ترین سطح خود یعنی ۳۶ دلار در هر تن رسید، هنوز هم این شرکت بتواند به روند کسب درآمد مطلوب خود ادامه دهد.

بنابراین بدون ایجاد هیچ تغییر عمده‌ای در سیاست‌های چین، انتظار می‌رود که قیمت‌ها کاهش پیدا کنند. آخرین پیش‌بینی‌های شرکت سیتی‌گروپ و گروه گلدمن ساکس، کاهش قیمت سنگ‌آهن طی سه ماه و رسیدن آن تا سطح ۷۰ دلار در هر تن را نشان می‌دهد.

در همین رابطه، قیمت سنگ‌آهن در روز ۳ نوامبر ۲۰۲۲ با ۰/۳ درصد کاهش، به ۸۰ دلار و ۳۰ سنت در هر تن رسید. همچنین قیمت مس در بورس فلزات لندن با ۰/۱ درصد کاهش، به هفت هزار و ۶۱۶ دلار در هر تن رسید که برای پنجمین بار در ۶ روز معاملاتی پی در پی پس از اشاره فدرال رزرو مبنی بر افزایش نرخ‌های بالاتر

از حد انتظار در ماه‌های آینده، منجر به کاهش تمایل به ریسک در سرمایه‌گذاری در این صنعت شد. قیمت آلومینیوم با ۰/۸ درصد افزایش، به دو هزار و ۲۶۸ دلار در هر تن رسید تا برای چهارمین روز متوالی، روند صعودی را تجربه کند.

برخی پست‌های تایید نشده در شبکه‌های اجتماعی در هفته اخیر، نشان می‌دهد که دولت چین درصدد است چگونگی پایان دادن به برنامه قرنطینه سخت‌گیرانه برای کنترل شدید گسترش ویروس کرونا را ارزیابی کند که این موضوع می‌تواند اندکی بر افزایش قیمت‌ها تاثیرگذار باشد.

با این حال، بسیاری از این کارشناسان معتقدند که موافقت رئیس‌جمهور چین با اجرای این سیاست می‌تواند به راحتی طی چند ماه آینده اجرای این سیاست را در هاله‌ای از ابهام قرار دهد و اگر هم این سیاست منجر به ایجاد تمایل به رشد در بازار شده باشد، ادامه اجرای این طرح به طور کامل به وضعیت آینده دولت حاکم چین بستگی خواهد داشت.

تاثیر چشمگیر عوامل بنیادین بر قراردادهای فولاد در سال ۲۰۲۳ تغییرات قابل توجهی در بازار ورق‌های فولادی اروپا و آمریکای شمالی نسبت به سال گذشته رخ داده است. اگر آغاز عقد قراردادها در برخی از بازار را در نظر بگیریم، روند رشد تقاضا کاهش یافته و دسترسی به تامین ماده اولیه به حالت عادی درآمده است؛ در حالی که قیمت‌ها و هزینه‌های فولادسازی نسبت به قبل، کاهش بیشتری را تجربه کرده است.

به گزارش پایگاه خبری و تحلیلی «فلزات آنلین» و به نقل از موسسه «CRU»، در مطلب پیش رو می‌توان بر چند نکته مهم مربوط به مذاکرات برای عقد قرارداد در بازار ورق فولاد اتحادیه اروپا و آمریکای شمالی اشاره کرد (لازم به ذکر است که تمام داده‌های موجود در این گزارش، به ۲۷ کشور عضو اتحادیه اروپا به علاوه بریتانیا مرتبط هستند). در همین رابطه، مذاکرات برای عقد قراردادهای سالانه شروع شده است. با این حال، شرایط عوامل بنیادین در بازار در حال حاضر تفاوت زیادی با سال گذشته دارد. البته برخی از این موارد در این گزارش معرفی خواهند شد.

- افزایش مذاکرات پیرامون عقد قرارداد ورق‌های فولادی

فولادسازان، تولیدکنندگان محصولات فولادی و خریداران فولاد در حال مذاکره برای عقد قراردادهای ۲۰۲۳ هستند. عوامل بنیادی و مهم در این مذاکرات به طور کلی سال به سال استمرار بیشتری پیدا می‌کنند. در همین رابطه می‌توان به سوال‌های مطرح شده در این رابطه اشاره کرد:

• روند عرضه و تقاضا در سال ۲۰۲۳ در مقایسه با سال جاری چگونه خواهد بود؟

• هزینه‌های مشارکت و قیمت ورق فولادی در سال جاری چگونه نوسان داشته و این روند در سال ۲۰۲۳ چگونه خواهد بود؟

در پاسخ به این سوالات می‌توان بیان کرد که اکنون به یک بینش اولیه نسبت به این موضوع رسیده‌ایم. برای تحلیل روند تقاضای ورق‌های فولادی، می‌توان از مصرف خالص ظاهری استفاده کرد که در واقع حاصل مقدار فروش در واحدهای تولیدی به اضافه حجم واردات منهای تناژ صادرات است. این داده‌های ارائه شده حجم ورق فولادی موجود در بازارهای محلی را نشان می‌دهند. نمودار زیر مصرف خالص ظاهری ورق فولادی را برای هر دو بازار اتحادیه اروپا و آمریکای شمالی از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. پس از قرنطینه‌های شدید مربوط به ویروس کرونا، میزان مصرف در سال ۲۰۲۱ به سطوح بالاتر از سال ۲۰۱۹ برای هر دو بازار مذکور افزایش داشت. پیش‌بینی می‌شود که میزان مصرف در انتهای سال ۲۰۲۲ نسبت به سال گذشته، با مقداری کاهش روبه‌رو شود. این شیب نزولی در روند تقاضای نهایی، ناشی از رشد آهسته‌تر فعالیت‌های صنعتی است؛ در حالی که انبارش مجدد کالاها از یک سال قبل متوقف شده است.

ادامه روند اصلاح قیمت ورق فولادی

در حالی که تقاضای ورق فولادی در اروپا و آمریکای شمالی نسبت به سال ۲۰۲۱ کاهش یافته است، قیمت این ورق‌های فولادی به حرکت به سوی بالاترین ارقام ثبت شده تمایل دارند. به علاوه قیمت‌ها در هر دو بازار مذکور و در دیگر کشورهای جهان، به دنبال قرنطینه‌های اعمال شده به خاطر شیوع ویروس کرونا افزایش یافت؛ چراکه این شرایط باعث شد تا روند تقاضا برای فولاد از روند عرضه آن پیشی بگیرد و موجب کاهش موجودی انبار کالاها و ایجاد مشکل در زنجیره تامین سراسری شود.

در اوایل سال جاری، با حمله روسیه به اوکراین که منجر به اعمال تحریم‌ها علیه روسیه شد، زنجیره تامین تجارت جهانی محصولات فلزی در جهان با اختلال مواجه گشت و رشد قیمت‌ها متوقف شد. این اختلال باعث شد تا قیمت ورق‌های فولادی افزایش یابد و در مورد بازارهای اروپایی، باید عنوان کرد که قیمت‌ها به بالاترین حد خود در دوران همه‌گیری کرونا قبل از بازگشت به روند قبلی رسید. با این حال، این روند صعودی در قیمت‌ها و هزینه‌ها کوتاه‌مدت بود و قیمت‌ها به مسیر نزولی خود بازگشتند.

پایگاه خبری فلزات آنلاین، آذر ۱۴۰۱

همایش ها و نمایشگاه های خارجی در سال ۲۰۲۲			
ردیف	عنوان	تاریخ	محل
۱	یازدهمین نمایشگاه بین المللی فولاد ضد زنگ - Stainless 2023	۱۱-۱۰ مه ۲۰۲۳	برنو، جمهوری چک
۲	نمایشگاه بین المللی فلزکاری، فناوری ها و تجهیزات صنعتی - Metal Show & TIB	۱۲-۹ مه ۲۰۲۳	بخارست، رومانی
۳	دهمین کنفرانس و نمایشگاه - ساخت فولاد	۱۱-۹ مه ۲۰۲۳	میلان، ایتالیا
۴	کنفرانس و نمایشگاه برتر فناوری فولاد	۱۱-۸ مه ۲۰۲۳	دیترویت، ایالات متحده آمریکا
۵	بیست و هفتمین کنفرانس متالورژی آلتا	۵-۱ مه ۲۰۲۳	پرث، استرالیا
۶	شصت و پنجمین کنگره ریخته گری اتریش Österreichische Gießereitagung /	۲۸-۲۷ آوریل ۲۰۲۳	شلادمینگ، اتریش
۷	کنفرانس مواد و تولید مدرن - MMM2023	۲۷-۲۵ آوریل ۲۰۲۳	دانشگاه فناوری تالین، استونی
۸	چهارمین نمایشگاه بین المللی Meitech - Die Casting Expo مکزیک و انجمن ریخته گری آمریکای شمالی (NADCA)	۲۱-۱۹ آوریل ۲۰۲۳	سن لوئیس پوتوسی، مکزیک
۹	بیست و نهمین کنفرانس جهانی منابع ریخته گری،	۱۴ آوریل ۲۰۲۳	شانگهای، چین
۱۰	هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و ساخت - ICMEM 2023	۱۰-۷ آوریل ۲۰۲۳	دانشگاه چیبا، ژاپن
۱۱	چهاردهمین نمایشگاه بین المللی UzMetalMashExpo 2023	۷-۵ آوریل ۲۰۲۳	تاشکند، ازبکستان
۱۲	نمایشگاه بین المللی تجارت (LitMetExpo-2023)	۷-۴ آوریل ۲۰۲۳	مینسک، بلاروس
۱۳	نمایشگاه بین المللی فناوری سفارشی برای آلومینیوم، ریخته گری و صنعت فلزات نوآورانه (METEF 2023)	۳۰ مارس الی ۱ آوریل ۲۰۲۳	بولونیا، ایتالیا

جهت کسب اطلاعات بیشتر به سایت <https://www.castingarea.com/events.htm> مراجعه نمایید.

آیین نامه ایمنی در صنایع ریخته گری (قطعه ریزی و لوله ریزی)

(قسمت چهارم)
جامعه ریخته گران ایران

Safety regulations in foundry industries

(part 4)

Iranian Foundry Men's Society

فصل یازدهم - ریخته گری گریز از مرکز

الف - لوله ریزی

- ماده ۳۰۶: ماشین ها و ایستگاه های مختلف کار در ریخته گری گریز از مرکز باید از اطاق کنترل قابل رویت باشند.
- ماده ۳۰۷: کلید توقف اضطراری و کنترلهای مربوط به ماشین ریخته گری گریز از مرکز باید هنگام ذوب ریزی و چرخش دستگاه در دسترس اپراتور ماشین باشد.
- ماده ۳۰۸: بازکردن گیره (بست) قالب ها در حین بارریزی نباید امکان پذیر باشد. ضمنا بست قالب های نیوماتیک (پنوماتیک)، هیدرولیک یا الکترومغناطیس باید طوری طراحی شده باشند که فقط پس از انجماد ذوب امکان بازشدن آنها وجود داشته باشد.
- ماده ۳۰۹: برای پیشگیری از جابجایی ناخواسته، حفاظهای متحرک باید در موقعیت بسته نگهداشته شوند.
- ماده ۳۱۰: پاتیل، لوچه و ناودانی بارریز باید هنگام بارریزی در برابر تکان های ناخواسته حفاظت شوند.
- ماده ۳۱۱: ناودانی بارریز، لوچه و قالب ها باید پیش از استفاده خشک شوند.
- ماده ۳۱۲: منطقه زیر و اطراف پاتیل باید خشک نگهداشته شود.
- ماده ۳۱۳: در مواردی که تمیز کاری پاتیل و ناودانی بارریز با دوران آنها حول محور مرکزیشان انجام می گیرد، نظافت محوطه اطراف از بیرونی ترین منطقه ایی که احتمال پاشش قطعات فلزی وجود دارد، باید انجام پذیرد.
- ماده ۳۱۴: در ماشین های ریخته گری گریز از مرکز به منظور جلوگیری از وارد آمدن صدمه به اپراتورها بواسطه پرتاب ذرات و حرکت طولی ماشین و لوله، تابلوی کنترل ماشین باید خارج از منطقه خطر باشد.
- ماده ۳۱۵: در ماشین های ریخته گری گریز از مرکز به منظور جلوگیری از جداشدن اجزاء قالب از یکدیگر که ناشی از اعمال نیروی سانتریفوژ می باشد موارد ذیل باید رعایت گردد:
- الف - استحکام قالب و قفل های قالب مناسب و کافی باشد.
- ب - سرعت دوران قالب مطابق مقدار مجاز آن باشد.
- ج - فشار اعمالی محدود به مقدار مجاز باشد.

ماده ۳۱۶: با استفاده از سوئیچ های محدودکننده، باید از افزایش سرعت دوران ناخواسته و حرکت طولی خطرآفرین غیرمجاز ماشین آلات و تجهیزات جلوگیری گردد.

ماده ۳۱۷: طراحی منطقه نقل و انتقالات محصولات ریخته گری گریز از مرکز باید به گونه ای باشد که امکان گیرافتادن کارگران وجود نداشته باشد.

ماده ۳۱۸: در صورت متحرک بودن قالبها و امکان نزدیک شدن آنها به نقطه توقف باید طراحی به گونه ای باشد که از گیر افتادن کارگران در فضای بین قالبها و نقطه توقف جلوگیری بعمل آید.

ماده ۳۱۹: به منظور جلوگیری از سقوط و یا از جادررفتن قالب ها از غلطک های حمل کننده، باید از راهنماهای ثابت یا قطعات نگهدارنده استفاده نمود.

ماده ۳۲۰: چرخش پاتیل های مذاب برای ریخته گری در ماشین های ریخته گری گریز از مرکز باید کاملاً تحت کنترل اپراتور باشد. به این منظور اپراتور باید دید کامل و بدون محدودیت به روند کار داشته باشد. ضمناً شروع چرخش پاتیل باید با فشار دادن مداوم دکمه کنترل مربوطه توسط اپراتور انجام پذیرد.

ماده ۳۲۱: به منظور جلوگیری از پرتاب مذاب در حین چرخش قالب در ریخته گری گریز از مرکز، باید از حفاظ های مناسب استفاده گردد.

ماده ۳۲۲: بمنظور جلوگیری از شروع به کار ناخواسته و ناگهانی ماشین های ریخته گری گریز از مرکز و حذف خطرات مربوطه، باید از شروع به کار مجدد خودکار این ماشینها جلوگیری بعمل آید.

ب - بوش ریزی

ماده ۳۲۳: دستگاه بوش ریزی باید مجهز به حفاظ مناسب بوده تا از پاشش مواد مذاب در هنگام کار دستگاه، جلوگیری بعمل آید.

ماده ۳۲۴: مخزن پوشان دستگاه بوش ریزی باید مجهز به سیستم تخلیه خودکار فشار هوا باشد.

ماده ۳۲۵: پوشان داخل قالب دستگاه باید قبل از تخلیه مذاب به داخل آن از لحاظ خشک بودن بررسی گردد.

ماده ۳۲۶: استفاده از پوشان های داخل قالب که بر پایه الکل یا مواد مشابه می باشد ممنوع است.

ماده ۳۲۷: قبل از تخلیه مذاب به داخل قالب فلزی دستگاه بوش ریزی باید از بسته شدن کامل درب آن اطمینان حاصل گردد.

ماده ۳۲۸: لوله های پاشش (لانس های) پوشان به داخل قالب، باید از جنس فلزات کم مقاومت مانند مس یا برنج یا آلومینیم باشند.

ماده ۳۲۹: دسته برس سیمی مورد استفاده برای تمیز کردن پوشان باقیمانده در داخل مذاب نباید از جنس فلز باشد.

تبصره: توصیه می شود از دسته های چوبی با ضخامت حداکثر ۲۵ تا ۳۰ میلیمتر استفاده شود.

ماده ۳۳۰: خارج نمودن قطعه از داخل قالب باید پس از توقف کامل قالب انجام پذیرد.

ماده ۳۳۱: به منظور جلوگیری از پاشش مواد مذاب به خارج از دستگاه، مقدار مذاب ریخته شده باید متناسب با ظرفیت قالب باشد.

ماده ۳۳۲: جهت تعویض قالبهای دستگاه بوش ریزی استفاده از ابزار و فیکسچرهای مخصوص الزامی است.

ماده ۳۳۳: قبل از بازکردن در مخزن مخلوط هوا و پوشان باید از بسته بودن شیر ورودی هوا به داخل مخزن و تخلیه کامل هوای فشرده داخل آن اطمینان حاصل گردد.

فصل دوازدهم - سایر مقررات

ماده ۳۳۴: صدور مجوز کار باید توسط کارفرما یا نماینده وی انجام پذیرد و باید بصورت حداقل شامل نوع فرایند، مخاطرات شغلی، اقدامات کنترلی و مدت زمان انجام کار باشد.

ماده ۳۳۵: با عنایت به ماده ۸۸ قانون کار جمهوری اسلامی ایران، کلیه اشخاص حقیقی و یا حقوقی که به ساخت یا ورود و عرضه ماشین ها، دستگاه ها و تجهیزات مشمول این آیین نامه می پردازند مکلف به رعایت موارد ایمنی و حفاظتی مناسب می باشند.

ماده ۳۳۶: کارفرما موظف است از پیمانکارانی استفاده نماید که دارای صلاحیت ایمنی بر اساس آیین نامه ایمنی امور پیمانکاری مصوب شورای عالی حفاظت فنی باشند.

ماده ۳۳۷: به استناد مواد ۹۱ و ۹۵ قانون کار جمهوری اسلامی ایران، مسئولیت رعایت مقررات این آیین نامه بر عهده کارفرمای کارگاه بوده و در صورت وقوع هرگونه حادثه بدلیل عدم توجه کارفرما به الزامات قانونی، مکلف به جبران خسارات وارده می باشد.

پرسش و پاسخ

دکتر مهرداد عضو امینیان

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

mrd.aminian@gmail.com

(کارخانه ریخته گری)، ابعاد قطعه و طرح آن و غیره بستگی داشته و یا قانون کلی در این خصوص وجود ندارد ولی در نظر گرفتن ملاحظات می تواند کمک شایانی کند.

قیمت به طور کلی به سه دسته مهم شامل مواد (شمش، قراضه، عناصر آلیاژی و آمیزان ها، چسب، مواد فرآیندی، ماسه، کک، مواد قالبگیری، رنگ، پوشان و غیره)، هزینه مستقیم و هزینه غیر مستقیم تقسیم می شوند.

دستمزد یکی از پر هزینه ترین عامل ها می باشد بنابراین روی آوردن به تولید به صورت اتوماتیک می تواند در کاهش قیمت تمام شده اثر فاحشی داشته باشد.

سوال ۳) خریدار چگونه می تواند، حدود قیمت یک قطعه ریخته گری را تخمین بزند؟

جواب: خریدار می تواند با در دست داشتن اطلاعات قیمت شمش و عناصر آلیاژی مورد نیاز بر اساس ترکیب شیمیایی قطعه مورد نظر و نسبت مصرف شمش، قراضه و مواد آمیزان و وزن قطعات مورد نظر و میزان مصرف مواد قالبگیری، اندازه درجه، روش ریخته گری، نوع مدل و ماهیچه دار یا نبودن قطعه، تا حدودی به قیمت مواد اولیه مصرفی اشراف پیدا نماید. همچنین می تواند با داشتن اطلاعاتی از جمله تعداد نفرات مستقیم و غیر مستقیم تولید و میزان خروجی تولید، با در نظر گرفتن سود معین، تا حدودی نرخ دستمزد را تخمین بزند. این امر در مذاکرات با فروشنده (ریخته گر) کمک بسیار زیادی به خریدار می کند.

سوال ۴) برای کاهش قیمت قطعات ریخته گری چه اقداماتی از سوی خریدار باید انجام گیرد؟

جواب:

•طراحی درست قطعه از نظر ابعادی تا هماهنگی با درجه های تولید کننده را داشته باشد.

سوال ۱) چه تمهیداتی برای خرید قطعات ریخته گری باید انجام شود؟

جواب:

•انتخاب ریخته گر مناسب

•بررسی ظرفیت مورد نظر خریدار با ظرفیت تولید کننده.

•هزینه ریخته گری و در نهایت مشخص نمودن قیمت کل.

•کاهش هزینه تمام شده با استفاده از روشهای تولید جدید. (لزوم سرمایه گذاری به تنهایی و یا با مشارکت خریدار به منظور کاهش هزینه تمام شده و زمان تحویل می تواند به این امر کمک نماید).

•تولید قطعات تمام شده. (ماشین کاری قطعات)

•خرید از کشورهایی که قیمت پایینی دارند.

•مشخص نمودن کیفیت قطعات از جمله میزان عیوب، پذیرش میزان ضایعات توسط خریدار، کیفیت سطحی، دقت ابعادی و سایر موارد مورد نیاز خریدار و همچنین توافق برای استقرار فردی در محل ریخته گری به منظور کنترل کیفیت حین تولید، لزوم انجام آزمایشات مورد نیاز برای سلامت قطعات و غیره.

•توافق برای بسته بندی و حمل قطعات در صورت نیاز.

•توافق بر میزان پیش پرداخت و زمان تحویل قطعات و ضرر و زیان وارده به خریدار در صورتی که در زمان مقرر قطعات تحویل داده نشود.

•الزام بر انعقاد قرارداد فی مابین که تمام الزامات حقوقی به درستی در آن قید گردد. این امر می تواند با مشاوره از یک وکیل دادگستری به درستی انجام گیرد.

سوال ۲) چه عواملی در قیمت تمام شده یک قطعه ریخته گری تاثیر گذار است؟

جواب:

قیمت تمام شده به عوامل مختلفی از جمله روش ریخته گری و جنس قطعه و ترکیب شیمیایی آن و اندازه تولید کننده

• تشویق تولید کننده به منظور مشاوره و کمک در طراحی بهینه قطعه.

• انتخاب مناسب روش ریخته گری با توجه به ابعاد و جنس قطعه.
• نظارت بر کنترل کیفیت قطعه و دادن گزارشات مستمر برای رفع ایرادات احتمالی در کیفیت قطعه.

سوال ۵) برای کاهش قیمت قطعات ریخته گری چه اقداماتی از سوی فروشنده (ریخته گر) باید انجام گیرد؟

جواب:

• افزایش تخصص و تخصصی نمودن امور..
• پرهیز از تولید قطعات غیر اقتصادی و نامناسب.
• استفاده از توانایی و استعداد های همکاران دیگر در تولید و تشکیل گروه کاری بزرگ تر و توانا تر.
• فراهم نمودن تجهیزات ماشین کاری برای تولید قطعات تمام شده.
• توسعه همکاری های تخصصی و فنی با سایر تولید کنندگان و همکاران.
• افزایش ساز و کارهای لازم برای کنترل تولید.

سوال ۶) برای کاهش قیمت قطعات ریخته گری چه اقداماتی از سوی خریدار و فروشنده با هم، باید انجام گیرد؟

جواب:

• توافق نسبت به میزان بهینه تعداد قطعه.
• همکاری نزدیک بین خریدار و فروشنده در همه امور.
• طرح بهینه به زمان تحویل مطمئن و سرمایه گذاری کمتر کمک می کند.
• همکاری مستمر خریدار با فروشنده، انگیزه خوبی برای سرمایه گذاری فروشنده در تولید قطعات مورد نظر می باشد.
• ظرفیت تولید که باید مورد توجه خریدار قرار گیرد.
• لزوم بهینه کردن قیمت تمام شده در تولید.
• همکاری بین خریدار و فروشنده در معاملات با تولید کنندگان در خصوص قیمت و چگونگی تهیه شمش، قراضه و سایر مواد مصرفی و همچنین افراد در سازمان هایی که مقررات و مجوز های مورد نیاز را صادر می کنند.

واژه نامه

دکتر مهرداد عضو امینیان

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

mrd.aminian@gmail.com

آزمون کشش (Tensile Test)

• ASTM D3039/D3039M روش آزمون استاندارد کشش

برای مواد کامپوزیت زمینه پلیمر

• ASTM D7205/D7205M روش آزمون استاندارد کشش

برای میله کامپوزیت زمینه پلیمر تقویت شده با فیبر

• ASTM D3916-08 روش آزمون استاندارد کشش برای پودر

شیشه ای تقویت شده با فیبر گلاس پلاستیکی

A2343 روش آزمون استاندارد کشش برای الیاف فیبر

شیشه ای، نخ مورد استفاده در پلاستیک‌های تقویت شده

آزمون ضربه (Impact Test)

آزمون ضربه یکی از روشهای استاندارد برای به دست آوردن انرژی

شکست مواد در اثر تنش دینامیکی است. مکانیزم آزمون ضربه تعیین

مقدار انرژی لازم برای شکستن قطعه در اثر ضربه می‌باشد. اطلاعاتی

که از این آزمون به دست می‌آید در درک چگونگی رفتار ماده در

موقعیت‌های کاربردی واقعی بسیار کاربردی است. هدف آزمون ضربه

شبیه‌سازی شرایط واقعی به منظور تلاش برای جلوگیری از شکست و

پیش بینی شکست نمونه است. از مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های

آزمایش ضربه، دو روش آیزود (Izod) و چارپی (Charpy)

می‌باشد. این دو روش فقط در نحوه قرارگیری نمونه‌ها در دستگاه

آزمایش ضربه با یکدیگر تفاوت دارند.

رفتار مواد در برابر (ضربه) در مقایسه با بار استاتیکی مشابه (کشش)

بسیار متفاوت می‌باشد. تست ضربه معیار مناسبی برای تعیین و

طبقه‌بندی تمایل پلاستیک‌های مختلف برای رفتار ترد می‌باشند.

دستگاه تست ضربه آیزود (Izod Impact test) متشکل است از یک

آونگ سنگین نصب شده در یک قاب محکم. آونگی با جرم ۴ کیلوگرم

(۶۰ پوند)، از ارتفاع ۰/۶۱ متری (۲ فوت) شروع به حرکت می‌کند.

یکی از آزمون‌های مخرب است که نمونه تحت نیروی کششی تک

بعدی تا نقطه شکست قرار می‌گیرد و این درحالیست که ازدیاد طول

نیز به صورت همزمان با نیروی اعمالی (بار اعمالی) ثبت می‌شود.

نتایج حاصل از آزمون به طور معمول برای انتخاب یک ماده به منظور

کنترل کیفیت و پیش‌بینی اینکه چگونه یک ماده تحت انواع دیگری

از نیروها واکنش نشان می‌دهد به کار می‌رود. منحنی تنش-کرنش

مهندسی بر اساس مقادیر نیرو-اعمالی-ازدیاد طول رسم می‌شود لذا

خروجی آزمون یک منحنی تنش/کرنش می‌باشد که نشان دهنده

رفتار ماده تحت کشش است. داده‌های بدست آمده در این آزمون

برای تعیین خواص مکانیکی ماده از جمله کمیت‌های تنش تسلیم،

استحکام کششی، داکتیلیتی، مدول الاستیک و چقرمگی می‌باشند.

بعضی از روش‌های آزمون استاندارد برای تست کشش مواد فلزی

بشرح زیر می‌باشند:

• ASTM A 48/A 48 M استاندارد مشخصات چدنهای خاکستری

• ASTM A 536 استاندارد مشخصات چدنهای نشکن

• ISO 6892 تست کشش مصالح فلزی در دمای محیط

• JIS Z2241 روش آزمون کشش برای مواد فلزی

• ASTM D638 روش آزمون استاندارد کشش برای ورقه‌های

پلاستیکی

• ASTM D828 روش آزمون استاندارد برای خواص کششی کاغذ

و مقوا استفاده شده در دستگاه با نرخ کشیدگی ثابت

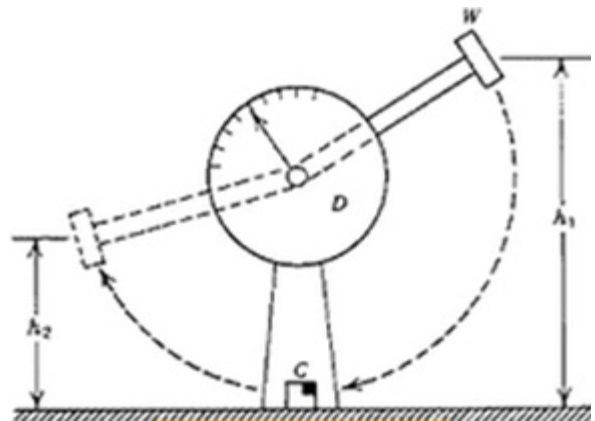
• ASTM D882 روش آزمون استاندارد کشش برای ورقه‌های

نازک پلاستیکی

• ISO 37 روش آزمون برای لاستیک، جوش زده شده توسط

ترموپلاستیک - تعیین خواص کششی تنش-کرنش

سرعت آونگ در پایین ترین نقطه نوسان، تقریباً $3/5$ متر بر ثانیه است. آونگ در پایین ترین نقطه حرکتش به نمونه آزمایش شیاردار، که محکم در گیره بسته شده است، برخورد می کند. بخشی از ضربه آونگ صرف شکستن نمونه آزمایش می شود. پس از برخورد، بالاترین ارتفاع آونگ یادداشت می شود. مقدار واقعی انرژی مصرف شده در اثر شکست نمونه، توسط شاخص متحرکی که همراه با آونگ در حال حرکت، روی یک صفحه مدرج حرکت می کند و در موقعیت حداکثر آونگ متوقف می شود، قابل خواندن است. نتیجه آزمایش ضربه نمونه شیاردار به صورت انرژی جذب شده در واحد سطح گزارش می شود و متداول ترین واحد آن کیلوژول بر مترمربع (KJ/m^2) است. مساحت مورد محاسبه، مقطع باقیمانده در قسمت شکاف است.



مقطع نمونه آزمایش استاندارد، مربع 10×10 میلی متر یا دایره ای به قطر $11/4$ میلی متر است. در این نمونه ها یک شیار V شکل به عمق 2 میلی متر با فرز ایجاد می شود. نمونه آزمایش ممکن است فقط یک شیار داشته باشد یا دارای سه شیار در سه وجه مختلف با زاویه های 90 درجه نسبت به یکدیگر باشند.

با هر نمونه آزمایش سه شیار، سه نتیجه آزمایش به دست می آید. پس از آزمایش اول و دوم نمونه را بالا آورده و در محل جدید در گیره می بندند. استقرار دقیق نمونه آزمایش در گیره بسیار مهم است و برای این منظور از یک شابلن ویژه استفاده می شود. نتایج آزمون های ضربه می توانند پراکندگی زیادی داشته باشند و توصیه می شود میانگین نتایج شش آزمایش یا بیشتر گزارش شوند.

آزمون آیزود علاوه بر کاربرد برای فلزات، برای مواد پلاستیکی هم مورد استفاده قرار می گیرد. برای مواد پلاستیکی میانگین ده آزمایش انجام می گیرد. یک عیب آزمون آیزود این است که به همان راحتی آزمون شارپی، استحکام ضربه ای مواد در دماهایی غیر از دماهای محیط را نمی توان تعیین کرد. اگر نمونه ها از کوره یا یخچال خارج شوند، ممکن است در فاصله زمان تنظیم محل دقیقشان در گیره به مقدار زیاد، ولی غیر قابل اندازه گیری، گرم یا سرد شوند.

آزمایش سختی سنجی (Hardness Test)

معمولاً اصطلاح سختی به خاصیت اجسام در مقابل نفوذ جسم دیگری

به سطح آنها و میزان مقاومت و نفوذپذیری آنها اطلاق می شود. رایج ترین آزمایش سختی، مشتمل بر حرکت یک جسم نفوذ کننده و یا فرو رونده بداخل جسم مورد آزمایش و ثبت نیروی لازم برای این کار و یا اندازه گیری مقدار فرو رفتگی در برابر یک نیروی معین می باشد، که این آزمایش، آزمایش سختی فرو روندگی نامیده می شود. چنانچه جرم معینی از یک ارتفاع مشخص بر روی سطح قطعه (که خاصیت الاستیک زیادی دارد) مورد آزمایش انداخته شود و مقدار واجهش آن جرم معین اندازه گرفته شود، به این آزمایش، آزمون سختی واجهشی گفته می شود. ساده ترین نوع سختی سنجی، خراشیدن سطح جسم نمونه به وسیله یک سوهان می باشد. مقدار خراشهای ایجاد شده از نظر کمی و کیفی نشان دهنده میزان سختی نسبی جسم خواهد بود. مقدار ساییدگی سطح جسم تحت شرایط تعیین شده، به عنوان سختی سایشی و مقاومت در مقابل سایش نامیده می شود.

اصول سختی سنجی بر پایه اندازه گیری مقاومت جسم در مقابل فرو رفتگی است که اساس و مبنای دستگاههای اندازه گیری مختلف می باشد. ابزار فرو رنده، در جسم، در آزمون سخت سنجی ممکن است به صورت ساچمه، مخروط ناقص، یک سطح و یا هرم باشد که معمولاً از فولاد سخت یا الماس ساخته شده و تحت یک نیروی ایستا (استاتیک) بکار برده می شود.

در سختی سنجی فرو روندگی، به دو طریق ممکن است سختی را اندازه گیری نمود. یا باری که بایستی تا عمق معینی فرو رفتگی را ایجاد نماید، اندازه گیری می شود و یا مقدار گودی ایجاد شده توسط یک بار مشخص اندازه گرفته خواهد شد. در آزمایش واجهش، یک بار متحرک و یا ضربه ای بر روی سطح قطعه مورد آزمایش انداخته می شود.

مقدار واجهش اندازه گرفته شده، سختی قطعه مورد آزمایش را نشان می دهد. شاید متداول ترین آزمایش های سختی سنجی بر روی فلزات، آزمونهای برینل و راکول باشد، هر چند انواع آزمایشات سختی سنجی دیگری نیز امروزه با توجه به زیاد شدن فولادهای سخت و سخت تر شدن سطوح فولادها مورد استفاده قرار گرفته اند.

این آزمایشات شامل سختی سنج شور، ویکرز، مونوترون (آزمایش با گلوله الماس)، راکول سوپرفیشیال (سختی سطحی راکول) و سختی سنج هربرت می باشد.

همچنین لزوم تعیین سختی قطعات بسیار نازک، قطعات بسیار ریز و تعیین گرادیان سختی (افت نسبی سختی) در فواصل بسیار کم و در لایه های نازک، سبب ابداع دستگاههای ریز سختی سنج ها مثل ریز سختی سنج نوپ شده است.

امروزه از روش های مختلف سختی سنجی به منظور اندازه گیری میزان سختی فلزات به ویژه پس از سخت کاری و عملیات حرارتی استفاده می شود. اساس کار دستگاه های سختی سنجی شامل ایجاد نقطه اثر بر سطح فلز و بررسی آن می باشد. مهم ترین روش های مرسوم سختی سنجی که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می شود

عبارتند از:

- روش برینل
- روش ویکرز
- روش راکول

شکل، منطقه مرده یا Dead Zone نامیده می شوند. در این مناطق تنش اعمالی به نمونه هنوز به حد تسلیم (حد سیلان) نرسیده است. بدین ترتیب قسمت های مخروطی شکل از نمونه که در تماس با فک های دستگاه تست فشار قرار دارند، به مقدار بسیار کمی تغییر شکل یافته و یا اصلاً هیچ تغییری شکلی نمی یابند. بر عکس در قسمت های میانی نمونه های نرم، بدون هیچ ممانعتی تغییر شکل پلاستیک صورت می گیرد. به طوری که نمونه به شکل یک بشکه که دور تا دور وسط آن متورم شده باشد درآمده و بدین ترتیب تغییر شکل به صورت غیر یکنواخت انجام می گیرد. به عبارتی دیگر در آزمون فشار از آنجا که اصطکاک بین سنبه و فک های نگهدارنده در تمامی سطوح نمونه یکسان نیست، سطوحی از نمونه که بیشترین سطح تماس با سنبه و فک ها را دارند، دچار تغییر شکل مومسان بیشتری می شوند و این مسئله باعث ایجاد نوعی تغییر شکل ناموزون می شود که بشکه ای شدن نام دارد.

همان طور که می دانیم هدف از تست فشار، تعیین رفتار ماده از طریق اندازه گیری متغیرهایی نظیر کرنش، تنش و تغییر شکل نمونه در هنگام اعمال تنش فشاری است. با انجام تست فشار، استحکام فشاری، استحکام تسلیم، استحکام نهایی، حد الاستیک و مدول الاستیک از پارامترهای فشاری ماده تعیین می گردد. با درک این پارامترها می توان قابلیت استفاده ی ماده برای کاربرد مورد نیاز را تعیین نمود.

آزمایش خمش (Bending Test)

خمش آزمایشی برای ارزیابی خواص مکانیکی مواد است که در آن مقاومت قطعه در برابر خم شدگی و شکستن مورد آزمایش قرار می گیرد. این آزمون راهی ساده و ارزان برای ارزیابی کیفیت مواد به شمار می رود. استانداردهای معمول مورد استفاده در آزمون خمش ASTM E290 و ASTM E858 هستند.

سال هاست که از این تست مخرب برای ارزیابی خواص خمشی قطعات متالورژی پودر، بتن، سنگ، چوب، پلاستیک، شیشه و سرامیک در مقیاس صنعتی استفاده می شود. از نتایج این آزمون، مدول الاستیسیته خمشی، تنش خمشی و کرنش خمشی قطعات را می توان استخراج کرد. در این آزمون معمولاً نمونه تا مرز شکست پیش می رود تا تمام جزئیات مقاومتی آن در برابر نیروهای خمشی ارزیابی گردد.

این آزمون معمولاً توسط دستگاه تست کشش یونیورسال (universal) و به دو صورت سه نقطه ای و چهار نقطه ای انجام می شود. سمبه دستگاه یونیورسال برای اجرای تست خمش، با سرعت مشخصی که معمولاً بین ۱۱ تا ۱۰ میلی متر بر دقیقه است به سمت قطعه مورد آزمون حرکت می کند. در حالت سه نقطه ای قطعه مورد آزمون روی پایه ای که دارای دو قسمت به عنوان تکیه گاه است قرار گرفته و نیرو از طریق سمبه به وسط قطعه اعمال می گردد.

آزمون فشار (Compression Test)

آزمون فشار، یکی از آزمون های مخرب مورد استفاده برای تعیین خواص مکانیکی مواد است. آزمون فشار عمدتاً مبنایی است برای پذیرش یا رد مواد ترد غیر فلزی و دیگر موادی که استحکام کششی بسیار اندکی دارند. این تست معمولاً برای بررسی کیفیت مواد ترد مانند چدن، آلیاژهای شکننده و هم چنین مواد غیر فلزی دیگری که تحت شرایط کاری بیشتر تحت تاثیر نیروهای فشاری قرار می گیرند، به کار می رود. در این مقاله قصد داریم به معرفی این آزمون بپردازیم. تست فشار آزمونی است که در آن نمونه ی آزمایش، نیروهایی مخالف هم را تجربه می کند؛ به این معنی که به نمونه از دو جهت مقابل، نیروی فشاری وارد می گردد. به عبارت دیگر نمونه در طی آزمایش، فشرده، کوبیده، یا کاملاً مسطح می گردد. نمونه این آزمون می تواند مکعب، استوانه یا حتی بخشی از لوله باشد.

اغلب دیده می شود که شکل نمونه به صورت استوانه است؛ چرا که نمونه های استوانه ای شکل استحکام فشاری بالاتری نسبت به نمونه های مکعبی شکل با همان سطح قاعده و ارتفاع نشان می دهند. همچنین توزیع تنش در نمونه های استوانه ای شکل مناسب تر از نمونه های مکعبی شکل است.

برای انجام تست، این نمونه ها بین دو صفحه دستگاه یونیورسال قرار می گیرند. انتخاب نوع دستگاه تست عمدتاً بر مبنای پارامترهایی مانند شکل، هندسه و خواص استحکامی قطعه انجام می شود. دو صفحه دستگاه نیروی اعمالی را در دو سطح مقابل هم در نمونه پخش کرده و سپس این صفحات به کمک دستگاه تست یونیورسال به سمت هم فشرده شده و موجب مسطح شدن نمونه می گردند.

اساساً مکانیزم تست فشار برعکس تست کشش های معمول می باشد. با توجه به دمای تست و نوع بارگذاری، تست فشار انعطاف زیادی برای استخراج نتایج دارد. تست یکنواخت، دوقطبی، سه گانه، دمای سرد، حرارت بالا، خستگی و خزش، همه مثال هایی از آزمون های مختلف فشار هستند که بر روی یک ماده می توان انجام داد.

در آزمایش فشار، نیروی خارجی معمولاً از طریق صفحات فشار موازی (فک های دستگاه) که سطح تماس آن ها با نمونه روغن کاری نشده است ($\mu > 0$) ضریب اصطکاک) انجام می گیرد. همزمان با اعمال فشار محوری به علت وجود اصطکاک در سطح قاعده های قطعه، تنش های عرضی در جهت شعاع و مماس وارد می شوند. در نتیجه وجود اصطکاک و تنش های ناشی از آن، از تغییر شکل یکنواخت نمونه جلوگیری می گردد. این ممانعت با افزایش فاصله از سطح فک ها به صورت مخروطی کاهش می یابد. این نواحی تاثیر پذیر مخروطی

فرمول اندازه گیری	کمیت
$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2}$	تنش خمشی برای سطح مقطع مستطیلی
$\sigma_f = \frac{FL}{\pi r^3}$	تنش خمشی برای سطح مقطع دایره ای
$\epsilon_f = \frac{6dD}{l^2}$	کرنش خمشی
$E_f = \frac{L^3m}{4bd^3}$	مدول الاستیک خمشی

آزمون خزش (Creep Test)

نتایج آزمون خزش در طراحی اجزای صنعتی و ساختمانی که در دمای بالا کار می کنند اهمیت بالایی دارند. به عنوان مثال مخازن نفتی موجود در پالایشگاه بایستی به گونه ای طراحی شوند که استحکام مناسب را در برابر تنش اعمالی از طرف سیال در دمای بالا و در مدت طولانی داشته باشند.

درست است که خزش در هر دمایی رخ می دهد اما اهمیت خزش به ماهیت ماده، دمای کاری و مقدار تغییر شکل مجاز قطعه بستگی دارد. تست خزش فرآیندی بسیار طولانی است و آزمایشگاه تست خزش نیاز به تعداد بسیار زیادی تجهیزات دارد. حتی شاید حدود صدها دستگاه آزمون خزش در یک آزمایشگاه لازم باشد؛ بنابراین آزمون خزش بسیار پر هزینه است. مشخصاً آزمون خزش همان آزمون کشش است که در تنش و دمای ثابت انجام می شود. در این آزمون از یک وسیله بسیار دقیق اندازه گیری طول (معمولاً کرنش سنج) و یک وسیله گرم کردن نمونه در شرایط کاملاً کنترل شده استفاده می شود.

روش متداول برای آزمون خزش مواد، استفاده از یک کوره مقاوم استوانه ای است که روی قاب ماشین کشش نصب می شود و در جهت قائم قابل جابه جایی است. کوره می تواند در امتداد هادی خود به طرف بالا و پایین حرکت کند تا در مکانی مناسب، نمونه را دربر گیرد یا اینکه به فاصله مناسبی از آن قرار گیرد به طوری که گذاشتن و برداشتن نمونه آزمایش و همچنین تنظیم سیستم کرنش سنج امکان پذیر باشد.

کوره باید به مقدار قابل ملاحظه ای از طول نمونه آزمایش بلندتر باشد تا اطمینان از برقراری دمای یکنواخت در تمام طول نمونه حاصل شود. کوره هایی که برای آزمایش خزش مورد استفاده قرار می گیرند معمولاً دارای چند ناحیه هستند که هر یک از آن ها می تواند مستقلاً کنترل شود. به این ترتیب افت دما، که معمولاً در دو انتهای استوانه کوره وجود دارد، جبران می شود.

در طول گیج نمونه باید چندین ترموکوپل دقیق قرار داده شود. حساسیت وسایل اندازه گیری دما باید به قدری باشد که حتی تغییرات نیم درجه سانتیگراد یا کمتر از آن را نیز اندازه گیری کنند. بیشتر کرنش سنج هایی که برای تست خزش به کار گرفته می شوند، دارای امکانات انتخاب مبدا اندازه گیری نیز هستند. لذا می توان برد

اصول تست خمش چهار نقطه ای همانند تست خمش سه نقطه ای است با این تفاوت که به جای یک سمبه از دو سمبه جهت اعمال نیرو استفاده می شود. فاصله سمبه ها از دو طرف، با تکیه گاه های نزدیک خود برابر است.

در هر دو حالت نیروی اعمالی به سمبه هنگام برخورد به قطعه افزایش می یابد و همچنین قطعه در محل برخورد با سمبه به سمت پایین حرکت می کند. حین آزمون خمش، در سطح بالایی قطعه تنش فشاری و در سطح پایینی آن تنش کششی ایجاد می شود. به این علت که معمولاً تحمل مواد در برابر تنش کششی کمتر از تنش فشاریست. اگر قطعه شکننده باشد از ناحیه پایین دچار شکستگی یا ترک می گردد.

متداول ترین نوع تست خمش، تست سه نقطه ای است. برای این نوع تست، نرم افزار دستگاه مقدار نیروی اعمالی و مقدار خم شدگی قطعه را در یک نمودار دو بعدی رسم می کند که در آن محور عمودی معرف نیرو (تنش) و محور افقی معرف میزان خم شدگی (کرنش) است. پس از انجام آزمون خمش، اکثر مواد بعد از برداشتن نیرو تا یک مقدار مشخص، بدون آنکه تغییر شکل دائمی یا پلاستیک در آنها ایجاد شود به حالت اولیه باز می گردند. این ناحیه به ناحیه الاستیک معروف است که در آن منحنی به صورت یک خط با شیب مشخص نمایش داده شده می شود. در این منطقه نسبت نیرو به جابجایی دارای مقدار معینی بوده و از قانون هوک پیروی می کند. با افزایش نیرو قطعه وارد ناحیه پلاستیک می شود. در ناحیه پلاستیک با برداشتن نیرو، قطعه دیگر به حالت اولیه باز نمی گردد. نقطه شروع این ناحیه به نقطه تسلیم معروف است. با ادامه روند افزایش نیرو، در نقطه ای قطعه توانایی تحمل نیرو را نداشته و کاملاً خم می شود و نیروی اعمالی توسط دستگاه کاهش می یابد. این نقطه همان نقطه شکست در تست خمش است.

برای استخراج نتایج از تست خمش لازم است که مقادیر متغیرهای زیر به دقت اندازه گیری شوند. این اندازه گیری ها بسته به نوع متغیر ممکن است قبل از آزمون خمش و یا بعد از آن انجام شوند.

σ_f	تنش خمشی در سطح خارجی و نقطه میانی
ϵ_f	کرنش خمشی در سطح خارجی
E_f	مدول الاستیک خمشی
F	نیروی اعمالی از طریق سنجه
L	فاصله بین تکیه گاه ها
b	عرض یا پهنای نمونه
d	ضخامت (عمق) نمونه
D	حداکثر انحراف نمونه از حالت افقی کامل
m	شیب خط الاستیک نمودار تست
R	شعاع نمونه

سیس مدول الاستیسیته خمشی، تنش خمشی و کرنش خمشی قطعه تست با روابط ارزشمند زیر محاسبه می گردند.

به دست آوردن تصویر کاملی از مشخصات خزشی ماده، به ازای هر ترکیبی از تنش و دما، انجام چندین آزمون و ثبت نتایج آن لازم است. با وجود این، حتی اگر هر ترکیبی از ویژگی های خزشی ماده در دوره های نسبتاً کوتاه ۱۰۰۰ یا ۱۰۰۰۰ ساعت در دسترس باشد، بسیار مشکل است که عملکرد خزشی آن ماده را در یک دوره طولانی از عمر ضمن خدمت، پیش بینی کرد.

با وجود این مسئله، نتایج آزمایش خزش را می توان با اطمینان کافی برای مقاصد طراحی مورد استفاده قرار داد. مشروط بر این که شرایط کار، شامل مقادیر نسبتاً ثابتی از تنش و دما در دوره های طولانی کاری باشد.

توضیحات	روابط	مدل برون یابی
تنش موثر: σ_a پارامتر مونکام-گران: C_{MG} ثوابت: K, M و N زمان گسیختگی: T_r نرخ کرنش پایا: ϵ_{SS}	$T_r \times \epsilon_{SS}^M = C_{MG}$ $(\epsilon_{SS}^M = K\sigma_a^N)$	مونکام-گران
پارامتر لارسون-میلر: P زمان آزمایش: t ثابت: C دمای آزمایش: T	$T(\text{Log}t + C) = P$	لارسون-میلر
انرژی فعال سازی خزش: Q دمای آزمایش: T ثابت گازها: R زمان گسیختگی: T_r	$P_{Dorn} = T_r \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$	دورن

آزمایش خستگی (Fatigue Test)

سه عامل مهم بر وقوع شکست خستگی موثرند. این عوامل عبارتند از:

- تنش کششی حداکثر
- تغییرات نوسانی زیاد در تنش اعمالی
- زیاد بودن چرخه های اعمالی

علاوه بر این، پارامترهای دیگری مانند تمرکز تنش، خوردگی، دما، بار اضافی، ساختار متالورژیکی، تنشهای باقی مانده و تنش های مرکب هم وجود دارند که شرایط را برای وقوع شکست خستگی فراهم می کنند.

در تست خستگی تعداد زیادی متغیر دخالت دارند. حتی اگر تمام نمونه های یکسان آزمایش با دقت زیادی تهیه و به طور یکنواخت صیقل داده شوند، نتایج آزمون خستگی ممکن است دارای پراکندگی قابل ملاحظه ای باشند. انجام آزمایش خستگی در آزمایشگاه معمولاً بر اساس شرایط بارگذاری یکنواخت استاندارد است و بنابراین برقراری ارتباط میان نتایج به دست آمده در تست خستگی در آزمایشگاه با آنچه که مستقیماً در هنگام کار اتفاق می افتد، دشوار است. لذا

اندازه گیری آن ها را تغییر داد و قرائت دقیق تری برای افزایش طول های بزرگ تر به دست آورد. اگر انتهای بازو های کرنش سنج ها به طرفین نمونه آزمایش متصل شود، ممکن است در قرائت طول مشکلاتی ایجاد شود. در مقابل می توان بازو های کرنش سنج را در محدوده ای خارج از قسمت اندازه گیری با استفاده از تیغه های تماس لبه تیز به گیج متصل نمود.

اتصالات نمونه و دستگاه در تست خزش باید بسیار استوار باشند تا در طول آزمایش، محل آن ها تغییر نکند. به ویژه اگر لازم باشد آزمون در دماهای خیلی بالا انجام شود. به هر حال، زیاد محکم کردن گیره های لبه تیز دستگاه، روی نمونه می تواند فرورفتگی هایی ایجاد کند که نهایتاً رفتار خزشی نمونه تحت آزمایش را دچار تغییر کند.

در روش دیگر اتصال، کرنش سنج ها به شانه هایی که خارج از قسمت اندازه گیری نمونه قرار دارند متصل می شوند. از آنجا که سطح مقطع نمونه آزمایش از قسمت میانی تا نقاط اتصال روی شانه ها در یک فاصله کوتاه به مقدار زیادی تغییرات دارد، مقدار افزایش طولی که روی شانه ها ایجاد می شود ناچیز است. اگر نقاط اتصال نزدیک لبه های نمونه باشند، در این صورت افزایش طول اندازه گیری شده در اثر خزش، نمایش تقریباً دقیقی از افزایش طول متناظر با طول قسمت گیج نمونه خواهد بود.

در آزمون خزش استاندارد، ابتدا نمونه همراه با ترموکوپل و کرنش سنج متصل به آن تا دمای انجام آزمایش گرم می شود و سپس بارگذاری انجام می شود. باید توجه داشت که نیرو به تدریج افزایش یابد و ازدیاد طول ناشی از افزایش بار تا رسیدن به تنش اسمی باید ثبت شود.

تولرانس دمایی در تست خزش اهمیت زیادی دارد که در استانداردها ذکر شده است. طبق استاندارد، برای انجام آزمایش تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد، باید دماها تا حدود ± 2 درجه سانتی گراد ثابت باشند. برای محدوده ۶۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی گراد، این مقدار $\pm 2,5$ درجه سانتی گراد بوده و در دماهای بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ این مقدار ± 3 درجه سانتی گراد تبیین گردیده است. برای رسیدن به این شرایط، نه تنها باید کوره به دقت ساخته شود و توسط ترموکوپل کنترل شود بلکه باید وسایل اندازه گیری دما از دقت و حساسیت بالایی برخوردار باشند. پیش بینی رفتار خزشی به دلیل تشخیص استحکام مواد در دمای بالا از جمله مواردیست که استفاده وسیعی در طراحی بسیاری از سازه های مورد کاربرد در دمای بالا دارد. روش معمول برای این پیش بینی، برون یابی داده های گسیختگی ناشی از خزش است. طبیعتاً این برون یابی ها با بکارگیری نتایج حاصل از تست خزش صورت می گیرند و نمودارهای مربوط به هر مدل رسم می گردند. مهم ترین پارامترها (مدل ها)ی که در طراحی مواد در دمای بالا کاربرد دارند، در جدول زیر گردآوری شده اند.

نتایج آزمون خزش دارای پراکندگی هستند و نمی توان که برای یک دما و تنش به خصوص، فقط به نتایج یک آزمون اکتفا کرد. برای

به کار گیری مستقیم نتایج تست خستگی در طراحی مشکل است، بنابراین در بعضی موارد لازم است با ابداع و انجام آزمایش خستگی روی تمامی یک سازه مهندسی، آزمون تا شکست کامل ادامه یابد. در شرایط آزمایشگاهی، آزمایش خستگی مواد معمولاً به دو صورت محوری و خمشی انجام می گیرد.

• تست خستگی خمشی

با وارد کردن نیرو به صورت خمشی به نمونه ها در دستگاه تست خستگی بلافاصله در سطح بالایی نمونه تنش کششی و در سطح زیری تنش فشاری ایجاد می شود. بعد از اینکه نمونه نیم دور یعنی ۱۸۰ درجه چرخید، مکانی که ابتدا تحت تأثیر تنش کششی قرار گرفته بود، تحت تنش فشاری قرار می گیرد. به این ترتیب تنش در هر نقطه ای از نمونه به صورت تناوبی تغییر می کند. در تست خستگی خمشی تنش تناوب می تواند بین دو مقدار حداکثر و حداقل در گونه های مختلف تنشی، از کشش تا فشار تغییر کند. اینجا سه حالت پیش می آید:

• حالت اول: تغییرات بارگذاری می تواند به گونه ای باشد که تنش اعمالی بین دو مقدار تنش کششی و تنش فشاری تغییر کند و تنش متوسط میانگین آن دو باشد.

• حالت دوم: تغییرات تنش می تواند به صورتی باشد که حداکثر تنش در موقعیت فشاری، کمتر از حداکثر تنش کششی باشد.

• حالت سوم: بارگذاری به گونه ای باشد که مقدار تنش بین حداکثر و حداقل در موقعیت کششی یا فشاری تغییر کند.

با توجه به هدف آزمایش هر یک از حالت های فوق می تواند تعریف گردد. نکته قابل توجه این است که تنش های اعمال شده نباید هر دو به صورت فشاری باشند؛ زیرا تنش های فشاری باعث بسته شدن ترک ها می شود. بنابراین شکست رخ نمی دهد و نتیجه ای به دست نمی آید.

• تست خستگی محوری

در آزمایش خستگی با بارگذاری محوری یا مستقیم، به نمونه در یک محور هم کشش و هم فشار وارد می شود. به این نکته باید توجه شود که لازم است که بارگذاری روی قطعه، کاملاً تک محوری باشد. در آزمون خستگی محوری، نگه دارنده های نمونه به صورت بسیار دقیق درون راهنماهای ثابتی جای می گیرند تا بارگذاری هم در کشش و هم در فشار کاملاً محوری باشد. یک مزیت روش آزمون تنش مستقیم در برابر آزمایش خمشی این است که چرخه بارگذاری را می توان طوری تنظیم نمود که تنش متوسط صفر نشود.

حین انجام آزمایش خستگی بعد از تعداد دور معینی شکست در نمونه ظاهر می شود. نتایج تست خستگی معمولاً به صورت منحنی های $S-\log N$ نمایش داده می شوند و مهم است که ضمن گزارش نتایج، روش اعمال تنش، نوع ماشینی که به کار گرفته شده، اندازه های نمونه آزمایش و بسامد چرخه، گزارش شوند. باید توجه کرد که نقاط به دست آمده ممکن است همگی بر روی یک منحنی قرار

نگیرند، بلکه اکثراً در محدوده ای کم و زیاد می شوند. برای حل این موضوع، می توان منحنی را با استفاده از مقداری متوسط از مقادیر مشخص شده به وسیله آزمایش رسم کرد. این بدین معنی است که احتمال این که نمونه حد معینی از تنش و تعداد دور تناوب مربوط به آن را بدون شکست بتواند تحمل کند، ۵۰ درصد است.

حد خستگی یا استحکام خستگی بالاترین تنشی است که یک ماده می تواند برای یک تعداد سیکل بدون شکستن تحمل کند. پس از تست خستگی دپده می شود که اغلب فولادهای نرم، آلیاژهای منیزیم و تیتانیوم و بعضی از آلیاژهای آلومینیم در نمودار خود به حد خستگی می رسند. در مقابل تعدادی از فلزات غیر آهنی از قبیل آلیاژهای مس، بعضی از آلیاژهای منیزیم و آلومینیم چنین حدی کاملاً مشخصی ظاهر نمی شود، بلکه کاهش پیوسته تنش به ازای افزایش دوره تناوب دیده می شود، در این حالت تعیین حد خستگی چندان ساده نخواهد بود. اما از آنجایی که دادن کمیتی که بتواند حد خستگی یک ماده را مشخص کند از نظر صنعتی اهمیت دارد، لذا در این گونه موارد تنشی را که به ازای آن حدود ۱۰۰ میلیون دور تناوب هنوز قابل تحمل باشد به عنوان حد تحمل انتخاب می شود.

با پیشرفت صنعت و افزایش تعداد وسایلی از قبیل خودرو، هواپیما، کمپرسور، پمپ، توربین و غیره که تحت بارگذاری تکراری و ارتعاشی هستند، خستگی بیشتر متداول شده و اکنون چنین برداشت می شود که عامل حداقل ۹۰ درصد شکست های ناشی از دلایل مکانیکی حین کار، خستگی باشد.

آزمایش متالوگرافی (Metallography Test)

ریزساختار مواد به عنوان عامل اصلی تعیین کننده خواص فیزیکی و مکانیکی مواد، همواره مورد توجه دانشمندان و محققان بوده است. منظور از ریزساختار، مشخصات مشاهده شده از ساختار مواد توسط میکروسکوپ در بازه ۰٫۱ تا ۱۰۰۰ میکرومتر است. ریزساختار مواد می تواند بر روی خواصی مانند استحکام، چقرمگی، انعطاف پذیری، سختی، مقاومت در برابر خوردگی، رفتار مکانیکی در درجه حرارت بالا یا پایین و مقاومت در برابر سایش تأثیر بگذارد. در واقع همین خواص هستند که به نوبه خود کاربرد مواد را در فرایندهای صنعتی را کنترل می کنند. بنابراین اگر بتوان ترتیب فازها و نقص ها در یک ماده را تحلیل کرد، می توان به درک خوبی از ریزساختار مواد رسید. متالوگرافی همانطور که از نامش پیداست، راهی بسیار قدیمی برای مشاهده، بررسی و تحلیل ریزساختار فلزات است. به علم، حرفه و هنر آماده سازی نمونه های فلزی و بررسی ریز ساختار میکروسکوپی آن ها متالوگرافی گفته می شود. تاریخچه این علم با پولیش و حکاکی کردن سطوح مختلف فلزی و بررسی جزئیات ساختمانی آن ها با چشم مسلح و غیر مسلح آغاز شد. در بسیاری از فلزات، دانه ها دارای ابعادی میکروسکوپی هستند و قطری در حدود میکرون دارند؛ بنابراین اجزای آن ها باید با استفاده از میکروسکوپ مشاهده و بررسی

شوند. اما مشکل فقط بزرگنمایی نیست؛ بلکه سطح فلز نیز باید آماده شود. از آنجایی که در بررسی های میکروسکوپی فقط سطح اجسام مورد بررسی قرار می‌گیرد، باید سطحی بسیار تمیز جهت دستیابی به اجزای مهم ریز ساختاری فراهم شود. مجموعه عملیاتی که منجر به آماده شدن چنین سطحی شود و شرایط بررسی میکروسکوپی ریز ساختار را فراهم کند، متالوگرافی می‌نامیم.

برای آماده سازی نمونه جهت مشاهده با میکروسکوپ، معمولاً دو دسته عملیات انجام می‌گیرد. ابتدا یک سری عملیات فیزیکی از قبیل تمیز کاری و صیقل دادن سطح فلز و سپس یک سری عملیات شیمیایی مثل اچ کردن که مرز دانه ها را واضح تر می‌کند. آماده سازی نمونه متالوگرافی را تا حد زیادی می‌توان یک هنر دانست. از این رو در آزمایشگاه های مختلف از راه های متفاوتی برای آماده سازی نمونه استفاده می‌شود. با توجه به این که فلزات از نظر سختی و بافت سطحی با یکدیگر تفاوت دارند؛ با توجه به نوع فلز مورد آزمایش روش آماده سازی ممکن است کمی متفاوت باشد. ولی اصول آماده سازی نمونه ها مشابه است که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

• انتخاب نمونه و مقطع زدن

انتخاب نمونه متالوگرافی که باید زیر میکروسکوپ قرار بگیرد از اهمیت زیادی برخوردار است. چرا که نمونه انتخاب شده باید نماینده کل فلز یا آلیاژ باشد. برای جدا کردن نمونه از قطعه نیز عملیات برش (Cutting) یا مقطع زنی (Cross Section) انجام می‌گیرد. بسته به جنس، ابعاد و سختی نمونه ممکن است روش های مختلفی برای مقطع زدن وجود داشته باشد. باید دقت داشت که در هنگام مقطعه زنی و برش، آسیب های ایجاد شده در نمونه به حداقل برسند. هم چنین در این مرحله باید به عواملی چون فشار، دما، سرعت برش، شرایط توسعه ترک، تولید حرارت، دقت عمل اپراتور و... توجه شود. معمولاً در آزمایشگاه ها مقطع زنی با اره، دستگاه تراش و یا برش با قوس الکتریکی انجام می‌گیرد.

• مانتینگ

معمولاً عملیاتی چون تراش، صیقل و... روی نمونه های کوچک یا با شکل خاص به سختی انجام می‌شود. بنابراین نمونه های متالوگرافی در داخل یک پلیمر یا رزین خاص مانت (Mounting) می‌شوند تا برای اقدامات بعدی قابلیت حمل و آزمون پیدا کنند. معمولاً مانت کردن به دو صورت گرم و سرد انجام می‌گیرد.

مانت گرم: در این روش از دستگاهی استفاده می‌شود که همزمان بتواند گرما و فشار ایجاد کند. نمونه در داخل دستگاه مانت قرار داده شده و پودر پلیمری بر روی آن ریخته می‌شود. دما تا حدود ۱۵۰ درجه سانتیگراد بالا رفته و فشاری در حدود ۳۰ مگاپاسکال اعمال می‌شود. در این حالت پلیمر اطراف نمونه را پر کرده و سخت می‌شود.

مانت سرد: در این روش معمولاً از دو محلول شیمیایی به صورت

(پودر-مایع) یا (مایع-مایع) استفاده می‌شود. این محلول معمولاً تا دمای ۴۰-۵۰ درجه سانتیگراد حرارت دیده و سپس در قالب حاوی نمونه ها ریخته می‌شود. پس از گذشت چند ساعت محلول سفت شده و نمونه را دربر می‌گیرد.

معمولاً استفاده از روش مانت گرم، نتایج بهتری نسبت به مانت سرد به همراه دارد. زیرا اعمال فشار باعث پر شدن بهتر حفرات اطراف نمونه شده و نفوذ محلول اچ به آن مناطق تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

مناسب ترین رزین ها برای عملیات مانت، رزین های اپوکسی و پلی استر هستند که به شکل ویژه برای کارهای متالوگرافی ساخته می‌شوند. از فواید مانت کردن نمونه می‌توان موارد زیر را نام برد:

• حفظ و نگهداری بهینه لبه نمونه ها

• نگهداری نمونه های کوچک، ترد، شکننده و پیچیده

• پر کردن حفرات و ترک های نمونه جهت جلوگیری از بالا آمدن آب یا الکل

• یکنواختی و سهولت پیکربندی در متالوگرافی

• سهولت در شناسایی و کدگذاری

• پرداخت ابتدایی (خشن)

این مرحله به حالت های مختلفی انجام می‌شود. در بعضی آزمایشگاه ها سطح نمونه با استفاده از پودر های "کاربید سیلیسیم" که بر روی کاغذ های مخصوص تعبیه شده اند، ساییده می‌شود. در بعضی دیگر کاغذ های سمباده دایره ای از جنس "گلسیم کاربید" روی سطح یک چرخ دوار افقی و تخت چسبانده شده و سپس نمونه با فشاری کنترل شده روی آن قرار می‌گیرد. در این مدت معمولاً از آب به عنوان روان ساز استفاده می‌شود تا ذرات جدا شده از سطح نمونه را با خود حمل کند و سطح را تمیز نگه دارد و گرما را نیز کاهش دهد. در اکثر موارد سمباده هایی با شماره های ۳۲۰، ۴۰۰ یا ۶۰۰ به صورت دستی روی نمونه کشیده می‌شوند. باید دقت داشت که در هر مرحله، نمونه به شکلی حرکت داده شود که خراش های ایجاد شده در یک جهت ایجاد شوند و در مرحله ی بعد، نمونه طوری چرخانده شود که خراش ها عمود بر جهت قبلی باشند. سمباده زنی خشن تا آنجا ادامه می‌یابد که سطح نمونه صاف و صیقلی شده و اثرات بریدگی یا خراش های ناشی از اره یا سنگ برش قابل رؤیت نباشند.

• پرداخت نهایی (نرم)

حساس ترین و مهم ترین مرحله ی آماده سازی برای آزمایش متالوگرافی، پرداخت نهایی یا پولیش کردن است. عمل پولیش کردن توسط دستگاه پولیش که دارای یک صفحه صاف، گرد و چرخنده است انجام می‌گیرد. پولیش معمولاً با مواد ساینده مثل پودر کواندراک (اکسید آلومینیوم) که اندازه بسیار ظریفی دارند با حضور آب انجام می‌شود. تعداد دور صفحه معمولاً بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ دور بر دقیقه است. در هنگام پولیش کردن حتماً آب باید از بالا به مقدار مناسب به وسط صفحه پولیش ریخته شود تا براده ایجاد شده را با خود ببرد.

در میکروسکوپ های نوری متالورژیکی، ریزساختار نمونه با استفاده از انعکاس نور از سطح فلز آشکار می شود.

• میکروسکوپ های الکترونی روبشی (SEM) و الکترونی عبوری (TEM)

در میکروسکوپ های الکترونی، پرتوهایی از الکترون برای ایجاد تصویر از نمونه به کار می رود؛ بنابراین در مقایسه با میکروسکوپ های نوری وضوح و بزرگنمایی بیشتری دارد. با استفاده از لنزهای مغناطیسی الکترون ها متمرکز می شوند و تصویر شکل می گیرد. در ضمن سطح نمونه نیز باید رسانا باشد.

میکروسکوپ الکترونی عبوری هم وضوح بیشتری دارد و هم دارای بزرگنمایی حدود یک میلیون بار است. در این میکروسکوپ الکترون ها به وسیله رشته تنگستن تولید شده و از سطح عبور می کنند با توجه به ساختار اتمی ماده جهت می گیرند و نهایتاً روی یک صفحه فلوئورسنت بزرگنمایی می شوند. ویژگی مهم این میکروسکوپ ها همان عبور از سطح است که باعث می شود ریزساختار خیلی واضح دیده شود.

پودر ساینده نیز به مقدار مناسبی به وسط صفحه پولیش ریخته می شود.

مدت زمان پولیش کردن بستگی به جنس نمونه، نوع مواد ساینده و سرعت دوران دستگاه دارد. مثلاً برای فلزات و آلیاژهای سخت تری مانند فولاد و نیکل و کبالت، در کاربردهای حساس، پولیش نهایی با خمیر الماس ۰٫۲۵ میکرون انجام می گیرد. اخیراً نیز پرداخت الکتریکی یا الکتروپولیش (Electropolishing)، در فلزاتی نظیر فولاد ضدزنگ، تیتانیوم و زیرکونیم انجام می گیرد که از بین بردن لایه های سطحی اعوجاج یافته در آن ها بسیار مشکل است. پس از عملیات پولیش قطعه باید به صورت آینه ای و عاری از هر گونه خط، خراش و یا فرورفتگی باشد.

• اچ کردن و ظاهرسازی ساختار

بعد از اتمام مراحل چند گانه پرداخت سطح، باید ویژگی هایی مثل گودال ها، سوراخ ها، ترک ها و نابجایی ها و... زیر میکروسکوپ کاملاً قابل تمایز باشند؛ ولی در بسیاری مواقع چنین نیست. یک نمونه پرداخت شده ریزساختار خود را نشان نمی دهد زیرا نور تابش یافته به سطح به طور مستقیم بازتاب می شود و تفاوت های کوچک در این بازتاب به وسیله چشم قابل تشخیص نیستند. عملیات اچ کردن (etching) به منظور آشکارسازی ویژگی های سطح انجام می شود. اچ میکروسکوپی به منظور رسیدن به هدف های زیر صورت می گیرد:

- ظاهر شدن ساختار زمینه و انواع دانه های به وجود آمده بر اثر تحولات یوتکتیکی

• تعیین نوع عملیات حرارتی انجام گرفته روی قطعه

• ظاهر شدن جزئیات بیشتر شاخه های دندریتی، مرز دانه ها و هسته دار شدن دانه ها

• مشاهده فازهای بین فلزی مختلف و ناخالصی ها در سطح

• تشخیص فازهای توزیع شده در سطح

برای اچ کردن نمونه ها معمولاً از یک اسید یا باز قلیایی ضعیف استفاده می شود و نمونه را داخل آن فرو می برند. این کار باعث می شود سطح نمونه در اسید حل شود. این انحلال در مرز دانه ها زودتر اتفاق می افتد و بلندی ها و مرزها به صورت پله هایی کم عمق در سطح ظاهر می شوند. رایج ترین محلول مورد استفاده برای فولاد محلول نایتال (Nital) نام دارد که محتوی محلول ۲٪ اسید نیتریک در الکل است.

• آنالیز میکروسکوپی

پس از مرحله اچ کردن نوبت به آنالیز میکروسکوپی سطح قطعه می رسد. عموماً در این مرحله برای مشاهده و بررسی دقیق سطح از میکروسکوپ های مختلف استفاده می شود. با توجه به حساسیت و اهمیت نمونه های متالوگرافی، در این بخش از میکروسکوپ نوری (OM)، الکترونی روبشی (SEM) یا الکترونی عبوری (TEM) استفاده می شود.

• میکروسکوپ نوری (OM)

لیست اعضاء حقوقی فعال جامعه ریخته گران ایران

<p>آلیاژهای نشکن ساز تهران ، فلکه دوم صادقیه، بزرگراه اشرفی اصفهانی، نبش گلستان ۱۴ برج نگین رضا ، طبقه ۹ جنوبی ، واحد ۹۰۸ (مواد اولیه ریخته گری) Email: info@nashkansaz.com تلفن: ۴۴۰۳۰۴۶-۴۴۰۳۰۴۶۷-۴۴۰۳۰۴۱۱ فاکس: ۴۴۰۳۰۴۶۸</p>	<p>آرمان تجارت صبا تهران- خیابان ولی عصر- بالاتر از میرداماد-کوچه یزدان پناه-پلاک ۹۱- طبقه ۵ جنوبی تلفن: ۸۸۷۹۸۴۲۷ فاکس: ۸۸۷۹۸۴۴۶ بازرگانی-واردات</p>
<p>بهریز فولادان تهران ، فلکه اول تهرانپارس ، خیابان گلبرگ بعد از رشید - پلاک ۷۹، طبقه ۵ شمالی - واحد ۱۶ تلفن: ۷۷۷۰۳۱۲۸ فاکس: ۷۷۲۹۹۶۸۵ Email: info@behrizfoladan.com ریخته گری فولاد</p>	<p>ایرالکو اراک ، بلوار منابع طبیعی ، شرکت سهامی تولید آلومینیوم ایران (ایرالکو) صندوق پستی ۳۱ ، کدپستی ۸۱۱۶-۳۱۱۸۹ - واحد تحقیقات Email: info@iralco.ir تلفن: ۰۸۶۳۲۱۶۲۰۸۰-۸۷ فاکس: ۰۸۶۳۲۱۶۲۰۸۱ تولید شمش آلومینیوم</p>
<p>پات روشن نیکتا (پاترون) تهران- ملاصدرا، خیابان پردیس، کوچه زاینده رود شرقی، پلاک ۱۷- طبقه اول تلفن: ۸۸۷۸۰۰۵۴ کدپستی: ۱۹۹۱۹۳۳۳۹۳ Email: info@patron.group</p>	<p>بالین تک قزوین ، شهرک صنعتی البرز ، انتهای خیابان حکمت سوم ، ابتدای خیابان شیخ بهایی ، شرکت بالین تک تلفن: ۸۸۵۲۲۶۲۵/۰۲۸۳-۲۲۲۲۸۶۸ فاکس: ۰۲۸۳-۲۲۳۸۰۴۲ Email: info@balintech.com دفتر مرکزی: سهروردی، کوچه باسقی، پلاک ۱۲ کد پستی: ۱۵۷۷۹۳۴۴۱۴ تلفن: ۰۲۱۸۸۵۱۸۳۷۲ تولید سرسیلندرهای خودروهای پراید- نیسان- پژو</p>
<p>جویندگان دانش افق سبز تهران- پیروزی- خیابان پنجم نیروی هوایی- مجتمع تجاری ولی عصر تلفن: ۷۷۴۶۲۱۲۶ فاکس: ۷۷۱۶۰۶۱۸ تامین و واردات کلیه مواد اولیه صنایع ریخته گری و فولاد</p>	<p>پاژ قطعات خودرو آمیتیس خراسان رضوی- چناران- شهرک صنعتی چناران- بلوار صنعت- فاز ۲- میدان خلیج فارس- نوآوری ۲- قطعه ۱۱۸۲ و ۱۱۸۳ تلفن: ۰۵۱۴۶۱۸۸۵۵۰-۵ Email: info@amitisap.com قطعات ایمنی و قطعات هیدرولیک خودرو</p>
<p>حرارت ساز پویا تهران- کیلومتر ۱۴ جاده مخصوص کرج- بلوار ایران خودرو- خیابان زامیاد- کوچه آبان ۷- پلاک ۱۷ تلفن: ۴۴۹۲۲۸۰۱-۲ فاکس: ۴۴۹۲۳۰۲۸ عملیات حرارتی فلزات</p>	<p>مهندسی و ساخت پره توربین مپنا - پرتو کرج، کیلومتر ۷ جاده ملارد، ضلع شمالی نیروگاه منتظر قائم، شرکت پرتو - واحد انتقال تکنولوژی و مرکز اسناد تلفن: ۰۲۶۳-۶۱۹۲۰۰۰ فاکس: ۰۲۶۳-۶۶۱۸۲۹۵ کدپستی: ۱۹۱۸۹۵۳۶۵۱ Email: info@mapnagroup.com ساخت پره های داغ توربین گازی</p>

چشمه سار

زنجان ، کیلومتر ۱۸ جاده تهران ص.پ: ۱۵۷۱ - ۴۵۱۹۵
تلفن: ۰۲۴۳۲۴۶۲۳۴۱-۳
فکس: ۰۲۴۳۲۴۶۲۳۴۰
صندوق پستی: ۱۵۷۱۴۵۱۹۵
Email: foundry@cheshmehsar.com
ریخته گری قطعات ترمز خودروچدنی

چدنیت صدر

تهران، خیابان مطهری، نرسیده به چهارراه سهروردی، ساختمان
۱۲۰، طبقه ۳، واحد ۶
تلفن: ۸۸۳۰۱۰۴۹
فاکس: ۸۸۳۰۱۱۳۱
کارخانه: تهران، جاده خاوران، بعد از پلیس راه شریف آباد،
شهرک صنعتی عباس آباد، بلوار خیام، کوی ۱/۱

داکتیل

تهران، میدان توحید، خیابان ستارخان، خیابان کوثر دوم،
پلاک ۱۵ واحد ۷، طبقه چهارم کدپستی: ۱۴۵۷۶۷۶۵۸۴
تلفن: ۶۶۹۲۴۸۰۹-۶۶۹۲۲۹۳۷-۶۶۹۲۵۶۷۳
فاکس: ۶۶۹۲۶۴۰۸
ریخته گری انواع چدن‌ها و فلزات غیر آهنی

ذوب آهن البرز غرب

تهران، خیابان شهید بهشتی - بعد از چهارراه سهروردی - نرسیده
به میدان تختی - خیابان کابوسی فر - کوچه آریا وطنی - پلاک
۱۰
کد پستی: ۱۵۷۷۸۱۵۷۱۳
تلفن: ۸۸۱۷۰۹۸۳-۷
فاکس: ۸۸۱۷۰۹۶۹
Email: west.alborz.steel@gmail.com

رزیتان

تهران پاسداران، چهارراه فرمانیه، نارنجستان هشتم، پلاک ۲۳، طبقه
۱۵، واحد ۱۵۰۳ و ۱۵۰۲
تلفن: ۲۲۰۲۰۵۲۱ - ۳۰
فاکس: ۲۲۰۲۰۴۸۶
کد پستی: ۱۹۵۷۶۱۴۰۵۳
تولید انواع رزینهای صنعتی

ریخته گری دقیق پولادیر

تهران، بلوار اشرفی اصفهانی، خیابان گلستان چهاردهم، برج
نگین رضا، واحد ۴۰۶ شمالی کد پستی: ۱۴۷۱۷۹۳۵۷۴
تلفن: ۴۴۰۳۱۶۷۳-۴۴۰۳۱۶۹۶-۴۴۰۳۰۲۶۴/۴۴۰۹۷۰۷۷-۸
فاکس: ۴۴۰۳۰۵۶۹
تولید قطعات متنوع صنعت

شوفاژ کار

کیلومتر ۸ جاده مخصوص کرج، روبروی شهاب خودرو، خیابان نخ
زرین، شرکت شوفاژ کار، واحد آموزش
تلفن: ۴۴۵۴۵۱۲۰-۳
فاکس: ۴۴۵۴۵۱۱۴
خیابان طالقانی، بین چهارراه مفتح، بهار، پلاک ۱۸۰، طبقه اول
تلفن: ۸۸۳۰۸۶۷۷
فاکس: ۸۸۳۰۹۳۲۶
تولید انواع دیگ‌های بخار چدنی

فارس ریزان مواد

دفتر: مرزداران -۳۵ متری لاله، جنب لاله ۹- پلاک ۱۷، واحد
۱۲
تلفن: ۴۴۲۵۶۳۲۵
فاکس: ۴۴۲۵۵۹۲۷
کارخانه: ساوه، شهر صنعتی کاوه، بلوار آزادی، خیابان ۱۷

فروسلیس ایران

تهران - خیابان پاسداران - بعد از چهار راه فرمانیه - نارنجستان ۷-
ساختمان پارک سنتر - طبقه ۱۹ - واحد ۱۹۰۲ و ۱۹۰۳
تلفن: ۴۰۲۲۹۷۵۶-۶۰ فاکس: ۴۰۲۲۹۸۸۶
فروسلیسیم-فروسلیسیم منیزیم-پودر میکرو سیلیکا

فولاد بست ایرانیان

دفتر مرکزی: بازار آهن غرب تهران - بلوک ۱۰ شمالی - پلاک
۴۶۳ و ۴۶۲
تلفن: ۶۶۶۷۱۱۳۷
کارخانه: اتوبان تهران - قم، شهرک صنعتی شمس آباد، بلوار
نارنجستان - گلبرگ ۲ - پلاک ۱۳
تلفن: ۵۶۲۳۰۹۸۲
تولید کننده بست های فلزی

فولاد روانشیر

تهران ، خ ملاصدرا، خ شیراز جنوبی، خ گرمسار غربی، کوچه بهار دوم،
پلاک ۶، طبقه چهارم
تلفن: ۲۷ و ۸۸۰۶۵۷۲۶
فاکس: ۸۸۰۶۹۷۹۸
ریخته گری قطعات چدنی و فولاد

فولاد طبرستان

تهران ، خ ملاصدرا، خ شیراز جنوبی، کوچه بهار، پلاک ۶، طبقه ۲
تلفن: ۳ - ۸۸۰۶۱۴۷۱
فاکس: ۸۸۰۶۱۴۷۰
تولید فولاد و چدن آلیاژی

فولاد ریزان

جاده قدیم کرج، پشت شیر پاستوریزه، شاد آباد، خ ۱۷ شهرپور، روبروی
شرکت دارو سازی اسوه - شرکت فولاد ریزان
تلفن: ۶۶۸۰۴۰۲۹ و ۶۶۸۰۵۵۶۵ و ۶۶۸۱۱۸۰
فاکس: ۴۴۲۵۵۹۲۷
کد پستی: ۱۳۷۱۸۴۴۸۱۳

فولاد مازندران

تهران ، خ ملاصدرا، خ شیراز جنوبی، کوچه بهار ۲، پلاک ۶، طبقه
سوم
تلفن: ۸۸۰۴۸۶۳۶-۸۸۰۴۸۶۵۶
تولید کننده انواع قطعات فولادی و چدنهای آلیاژی

غلتک سازان سپاهان

اصفهان - شهرک صنعتی بزرگ شرق اصفهان - فاز دوم - خیابان هفتم
تلفن: ۰۳۱-۴۶۴۱۲۶۵۹
فاکس: ۰۳۱-۴۶۴۱۲۶۶۰
تولید کننده قطعات ریخته گری سنگین چدنی و فولاد

ماشین سازی اراک

کارخانه: اراک، کیلومتر ۴ جاده تهران ص.پ ۱۴۸ ، مدیریت
متالورژی آقای مهندس راونجی
تلفن: ۹ - ۳۱۳۰۰۳۱ - ۱/۰۸۶۱ - ۲۱۷۲۵۰۰
فاکس: ۳۱۳۲۰۵۹ - ۳۱۳۹۰۲۳/۰۸۶۳ - ۰۸۶۳
دفتر تهران: تهران، مرزداران، خیابان ایثار، نبش نامدار ۲، پلاک ۴
تلفن: ۴۴۲۷۹۷۷۵-۶
فکس: ۴۴۲۷۵۷۱۵
فولاد سازی و آهنگری

مالیبل سایپا

کیلومتر ۱۵/۵ جاده مخصوص کرج ، روبروی شرکت سایپا ص.پ :
۱۳۴۴۵/۱۹۳ ، شرکت مالیبل سایپا
تلفن: ۴۴۱۹۶۵۳۷
فاکس: ۴۴۱۹۶۵۳۹
ریخته گری و ساخت انواع میل بادامک خودرو

هلدینگ میدکو

تهران - سعادت آباد - بلوار فرهنگ - نبش خیابان معارف - پلاک ۸
تلفن: ۲۷۳۴۰
فاکس: ۲۲۳۶۳۶۹۱
تولید کنسانتره سنگ آهن - کنسانتره زغال سنگ - کک
متالورژی - گندله سنگ آهن - شمش فولادی - آهن اسفنجی -
مس کاند - لوله های مسی
کد پستی: ۱۹۹۷۷۴۴۱۱۱

فولاد آلیاژی سمنان

سمنان، شهرک صنعتی شرق، جنب کارخانه عقاب
تلفکس: ۰۲۳۳۳۶۵۲۵۳۸ ۹ -
کد پستی: ۳۵۳۵۱۳۳۱۱۱

مرکز پژوهش متالورژی رازی

کیلومتر ۲۱ جاده مخصوص کرج، جنب نفت پارس، ورودی سرخه
حصار، بلوار حاج قاسم اصغری، خیابان فرنان، پلاک ۸
تلفن: ۰۲۱۴۶۸۳۱۵۷۰ و ۰۲۱۶۳۰۷
کد پستی: ۳۷۵۳۱۴۶۱۷۱

بنیاد علوم کاربردی رازی

کیلومتر ۲۱ جاده مخصوص کرج، ورودی شهر قدس، بلوار شهید حاج
قاسم اصغری، ورودی سرخه حصار، خ فرنان، پلاک ۲۷
تلفن: ۴۹۷۳۲
Email: info@RAZI-FOUNDATION.com
کد پستی: ۳۵۵۳۱۴۶۱۳۷

پایا ذوب کاوه

اصفهان، خیابان سعادت آباد، ساختمان هرم طبقه ۵ واحد ۱۵
تلفن: ۰۳۱-۳۶۷۰۰۴۹۵
فاکس: ۰۳۱-۳۶۶۹۱۴۹
info@payazob.com:Email

<p>پارس شمیم راه خورشید خیابان سعدی شمالی، خیابان منوچهری، کوچه دکتر اقاچان، پلاک ۱۳ واحد ۱۴ کد پستی: ۱۱۴۵۷۴۳۷۱۷ تلفن: ۶۶۷۱۶۰۶۵ مواد اولیه ریخته گری</p>	<p>فولادین ذوب امل امل، شهرک صنعتی امامزاده عبدالله، فاز یک، شرکت فولادین ذوب امل تلفن: ۲۳۲۳۰۲۴۴۱۱۹۸+</p>
<p>شرکت حامی الیاژ مهراباد جنوبی، ۴۵ متری زرنده، نبش کوچه محمد ناصر امری، مرکز تجارت فلزات پارسه، پلاک ۱۳ طبقه همکف، تلفن: ۶۳۵۱۱ کد پستی: ۱۳۸۶۷۵۳۳۱۷ مدیر عامل: سید حامد میری</p>	<p>شرکت مهندسی زیست فناوری نفت پاک سعادت آباد، بلوار سرو غربی، بلوار هادی جوریکی، ساختمان سرو، طبقه سوم، واحد ۳، تلفن ۲۲۰۹۴۴۰۹ کد پستی: ۱۹۹۸۷۵۵۳۷۹</p>
<p>شرکت ذوب بریس تهران، خیابان شهید بهشتی، خیابان پاکستان، کوچه دوم (قدیم) پلاک ۱۵ کد پستی: ۱۵۳۱۶۳۶۴۱۱ تلفن: ۸۸۵۰۳۸۰۴</p>	<p>مجتمع جهان فولاد سیرجان تهران، میدان ونک، بعد از چهار راه جهان کودک، خیابان شهیدی، نبش کوچه ژوبین، پلاک ۲، جهان کد پستی: ۱۵۱۸۶۱۲۳۴۵ تلفن: ۸۶۰۸۶۳۵۷</p>
<p>شرکت نانو آریسا پوشش گیلان، رشت، کیلومتر ۱۰ اتوبان رشت به قزوین، پارک علم و فناوری، واحد ۵، کد پستی: ۳۴۴۱۳۳۱۷۵۷ تلفن: ۰۱۳۳۱۸۸۴۹۹۸</p>	<p>ذوب و نسوز ایرانیان شهرک صنعتی شمس آباد، بلوار نگارستان مهر جنوبی، پلاک ۲۱۷ تلفکس: ۵۶۲۳۲۰۴۸ کد پستی: ۱۸۳۴۱۳۶۶۹۵</p>
	<p>شرکت دانش پرتو نقش جهان اصفهان، شهرک صنعتی نجف آباد، بلوار امیر کبیر، خ ابوریحان بیرونی، فرعی ۱ پلاک ۱۲، کد پستی: ۸۵۸۵۱۶۵۷۴۷ تلفن: ۰۳۱۴۲۶۹۳۵۲۴</p>



فرم درخواست اشتراک فصل نامه ریخته‌گری

نام و نام خانوادگی:	نام موسسه / سازمان:
شغل / نوع فعالیت:	میزان تحصیلات:
رشته تحصیلی:	رشته تحصیلی:
کد ملی:	
نشانی کامل پستی:	
کد پستی:	کد اقتصادی:
تلفن تماس:	
مشترک جدید <input type="checkbox"/> تمدید اشتراک <input type="checkbox"/> تاریخ تکمیل فرم:	
نوع اشتراک مورد نظر: فصلنامه	تعداد نسخه: ۴
شروع ارسال	از شماره:
شماره کارت تجارت به نام عبدالحمید قدیمی: ۵۸۵۹۸۳۱۱۴۵۰۸۱۵۳۴	
مبلغ: ۵۰۰۰/۰۰۰ ریال - پنج میلیون ریال (سالانه)	
خواهشمند است اشتراک اینجانب با مشخصات یاد شده را برقرار نمایید.	
فیش واریزی را لطفاً به واتس‌آپ به شماره ۰۹۱۹۳۴۹۹۴۲۹ و یا به ایمیل irfs.edu@gmail.com ارسال نمایید.	

Rikhtegary

Journal Of Iranian Foundrymen's Society, No.131-41th Year, winter 2022

contents:

Heat Treatments to Develop High-strength Ferritic Ductile Iron.....	3
Abdohamd Ghadmi	
Evaluation of Thermal Breakage in Bimetallic Work Roll Considering Heat Treated Residual Stress Combined with Thermal Stress during Hot Rolling.....	15
Masuod Kharizade	
Iran & Word News.....	27
Safety regulations in foundry industries (part 4).....	34
Iranian Fuondry men's Society	
Question and answer	36
Mehrdad Ozve Aminian	
Lexicon.....	38
Mehrdad Ozve Aminian	



Concerning Certificate No. P/92/5/26,
Rikhtegary, Journal of Iranian foundrymen's Society
Index by Islamic World Citation Center (ISC), Since 1999.

License: Iranian Foundrymen's Society
Director: Prof .P. Davami
Editor: Prof . J . Hejazi
Editorial Manager: Dr. M. Ozve Aminian
Executive Board:
Eng .A. Eslami
Eng .A. Ghadimi
Eng .SH. Khatamizadeh

Editorial Board:

Prof .H. Ashoori	Sharif University of Technology
Eng .A. Eslami	Tabarestan Steel Co
Dr .H. Banihashemi	Iranian Foundrymen's Society
Prof .J. Hejazi	Iran University of Science & Technology
Prof .P. Davami	Sharif University Of Technology
Dr .M. Divandari	Iran University of Science & Technology
Prof .S. Shabestari	Iran University of Science & Technology
Dr .N. Arab	Islamic Azad University
Dr .M. Ozve Aminian	Islamic Azad University
Eng .A. Ghadimi	Iran Foundry Syndicate
Dr .M H. mirbagheri	Amirkabir University
Eng .SH. Khatamizadeh	Iranian Foundrymen's Society

Head Office:

3th Floor, No. 174, North Bahar Ave, Tehran, Iran. **Postal Code:** 1573635863, P.O.Box: 15665-157

Tel: +98-21-88824927 , +98-21-88827202 **Fax:** +98-21-88823490

Website: www.irfs.ir Email: irfs.edu@gmail.com Telegram: irfs1359