



مجمع
فولاد
مبارک



دوماهنامه آهن و فولاد
شماره پنجاه و سوم، مهر و آبان ماه
سال ۱۳۹۸

فهرست

ارائه مدل عددی جهت تعیین ضریب انتقال حرارت بین قراضه و مذاب در فولادسازی



۲ گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

استفاده از افزودنی پوسته هسته نخل در کوره قوس الکتریکی



۴ گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

استفاده از نیروی الکترومغناطیسی پالسی در ریخته‌گری تختال



۷ گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

انواع آسیاهای مورد استفاده در تولید کنسانتره سنگ آهن (آسیای گلوله‌ای، غلتکی فشار بالا و برجی)



۱۰ علی شعبانی، منصور طورانی، مهدی علی زاده

بررسی عملکرد قیچی تختال در ناحیه نورد گرم مجتمع فولاد مبارک مبتنی بر پردازش تصویر مبارک اصفهان با رویکرد تبدیل برج‌های خنک‌کن تر به برج‌های خنک‌کن هیبریدی



۴۲ امیرحسین ابراهیمی، مهدی حیدری، پویان صاحبی، رسول امیرفتاحی، رضا قربانی، ابوالقاسم نیکزاد

امکان‌سنجی افزایش عمر صفحات سایشی (ساید‌گاید) قسمت کلاف‌پیچ واحد نورد گرم مجتمع فولاد مبارک



۵۰ محسن کریمی، محسن محمدی، محمدرضا طوقی‌نژاد، علیرضا کی پگانه

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دوماهنامه آهن و فولاد



۶۴

صاحب امتیاز: شرکت فولاد مبارک اصفهان
مدیر مسئول: ایرج ترابی

نشانی:

اصفهان، شرکت فولاد مبارک اصفهان
آدرس اینترنتی:

<http://ironandsteel.msc.ir>

نشریه در حکم و اصلاح مطالب ارسالی آزاد است.
مقالات ارسالی برگشت داده نخواهد شد.
مسئولیت مطالب به عهده نویسنده آن است.
اصل تصاویر و عکس‌ها با کیفیت مطلوب ارسال گردد.
نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

شمارگان: ۳۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۰۰۰ تومان

طرح جلد و صفحه آرایی: گرافیک نقطه

۰۹۱۳۳۰۰۸۱۹۳

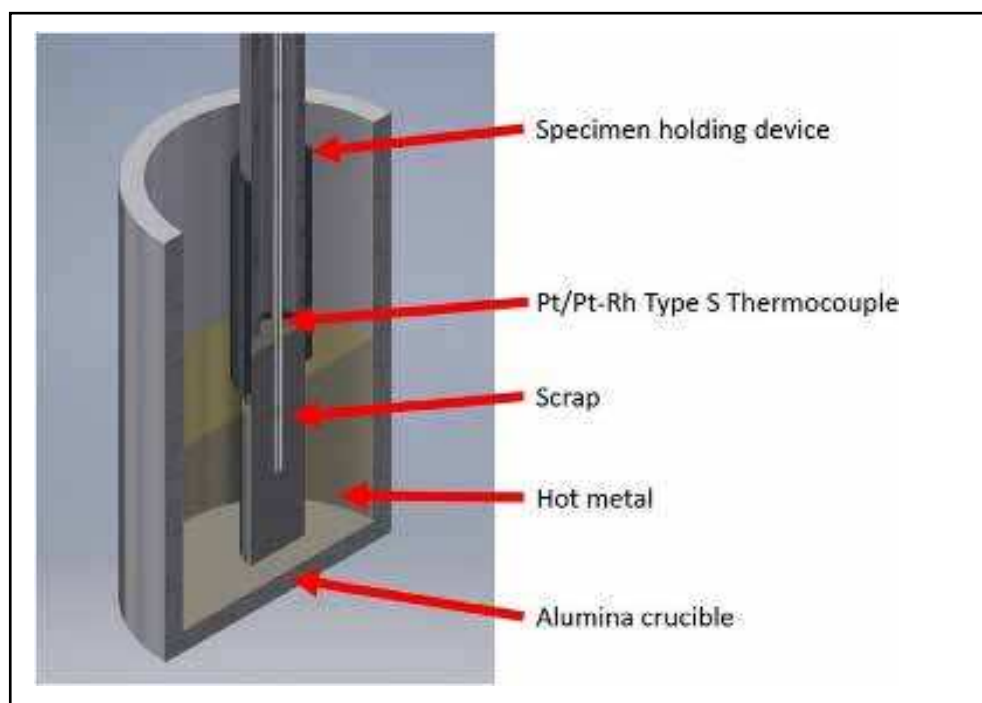
چاپ: آرمان نو

ارائه مدل عددی جهت تعیین ضریب انتقال حرارت بین قراضه و مذاب در فولادسازی

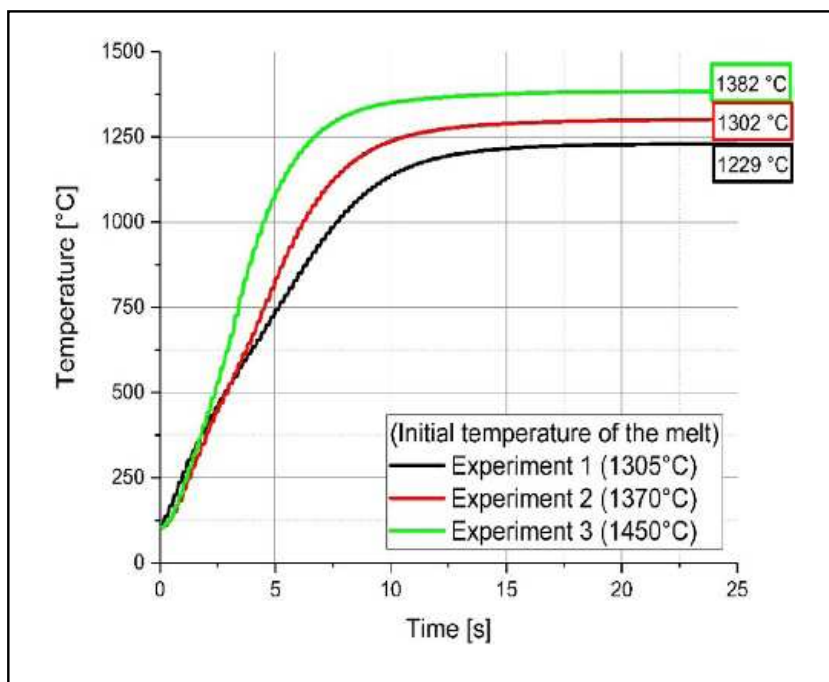
فرایند ذوب در کوره اثرگذار باشد. مطالعات گسترده‌ای برای تعیین ضریب انتقال حرارت قراضه در فلز داغ تاکنون صورت گرفته است. در کل مشاهده می‌شود که محققان یک محدوده وسیعی از $5 \text{ kW/m}^2\text{K}$ تا $75 \text{ kW/m}^2\text{K}$ برای ضریب انتقال حرارت قراضه در محاسبات بکار گرفته اند.

به همین منظور صنعت به سمت تعریف یک مدل عددی با استفاده از رویکرد جدید با توجه به انتقال جرم و گرما حرکت نموده است که اولین بار توسط سازمان K1-MET اتریش در سال ۲۰۱۹ میلادی معرفی شد. به همین منظور ابتدا در مقیاس آزمایشگاه، مدل ارائه‌شده را مورد ارزیابی قرار دادند که شماتیک فنی تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

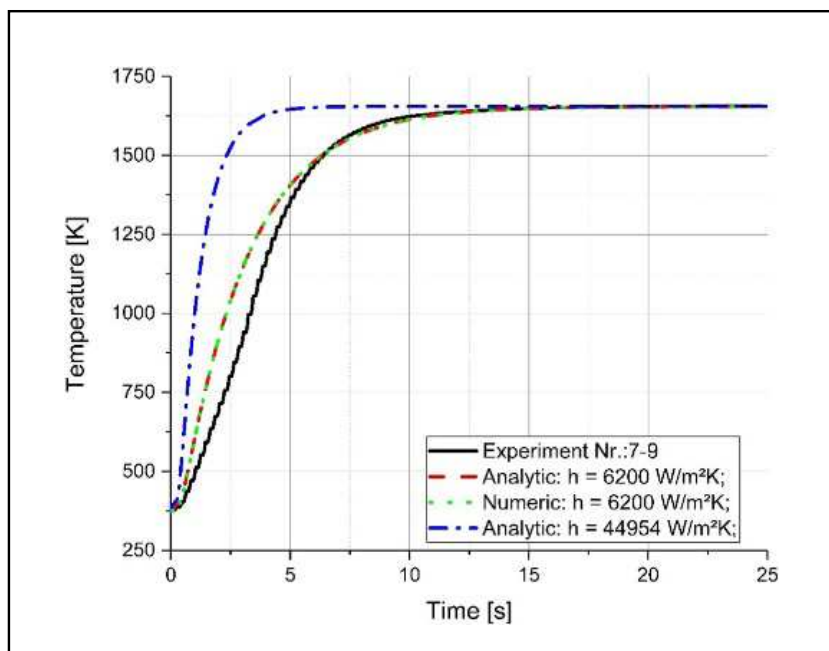
مدل‌سازی دینامیکی فرایند تولید فولاد در کوره قوس الکتریک و کنورتور (LD) از چالش‌های بزرگ کارخانه‌های تولید فولاد در شرایط اقتصادی فعلی به‌شمار می‌رود. یکی از این پارامترهای اساسی در این حوزه، رفتار قراضه در در کوره EAF و یا کنورتور است که موضوع اصلی واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های فولادی مختلف در جهان محسوب می‌شود. در این تکنولوژی اکسیژن خالص با سرعت مافوق صوت درون فلز داغ دم‌ش می‌شود و از این طریق مقداری گرما طی انجام واکنش بین کربن، سیلیسیم، منگنز، فسفر و اکسیژن تولید می‌شود و پس از تثبیت دما، قراضه شارژ می‌شود. قراضه علاوه بر اینکه یک منبع آهن است، بلکه خنک‌کننده مهمی نیز محسوب می‌شود. بنابراین ذوب و حل‌شدن قراضه در فلز داغ می‌تواند بر کل چرخه



شکل ۱.



شکل ۲.



شکل ۳.

$$\text{رابطه ۱} \quad Nu_m = \left[0.825 + 0.387 \left(\frac{Ra}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^{1/6} \right]^2 + 0.87 \cdot \frac{L}{d}$$

$$\text{رابطه ۲} \quad Nu = \frac{hL}{\lambda} = f(Gr, Pr) = f(Ra)$$

در شکل ۲ تکامل گذار دمای اندازه‌گیری‌شده توسط ترموکوپل در وسط سیلندر (بر اساس سه دمای شروع ذوب) مشخص شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد که در سیستم حاضر، دمای تعادل بین هسته قراضه و ذوب فلز گرم در حدود ۱۵ ثانیه حاصل می‌شود. همچنین درجه حرارت اولیه بالاتر منجر به تغییر شدیدتر دما با زمان می‌شود. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که دمای تعادل تقریباً ۷۰ درجه سانتی‌گراد زیر دمای شروع مذاب است. با استفاده از معادله Nusselt (رابطه ۱) و رابطه ۲ و همچنین خصوصیات حرارتی و هندسه‌ای، می‌توان ضریب انتقال حرارت را تخمین زد. در این روابط پارامترهای ذکر شده شامل: Ra عدد رابلی، Pr عدد پرنتل، Gr عدد گراشوف، L ارتفاع سیلندر، d قطر سیلندر، h ضریب انتقال حرارت قراضه و هدایت حرارتی قراضه است. بر اساس روابط ضریب انتقال حرارتی قراضه بین 41 الی 46 به‌دست آمده است. با استفاده از اندازه‌گیری دما و مشخصات دما محاسبه‌شده از مدل تحلیلی، ضریب انتقال حرارت در شکل ۳ در دمای اولیه فلز داغ 1450 درجه سانتی‌گراد به‌دست آمده است. البته ضرایب انتقال حرارت تخمین‌زده شده در کار حاضر تقریباً ۱۰ برابر کوچک‌تر از مواردی است که از طریق رابطه Nusselt ارزیابی شده است. این عدم قطعیت ممکن است دلایل مختلفی داشته باشد. به عنوان مثال ترکیبات پیچیده از انتقال گرما و انتقال جرم در قراضه، آزاد شدن گرمای نهان ذوب و وجود فاصله هوایی بین فلز داغ و قراضه از جمله این دلایل است.

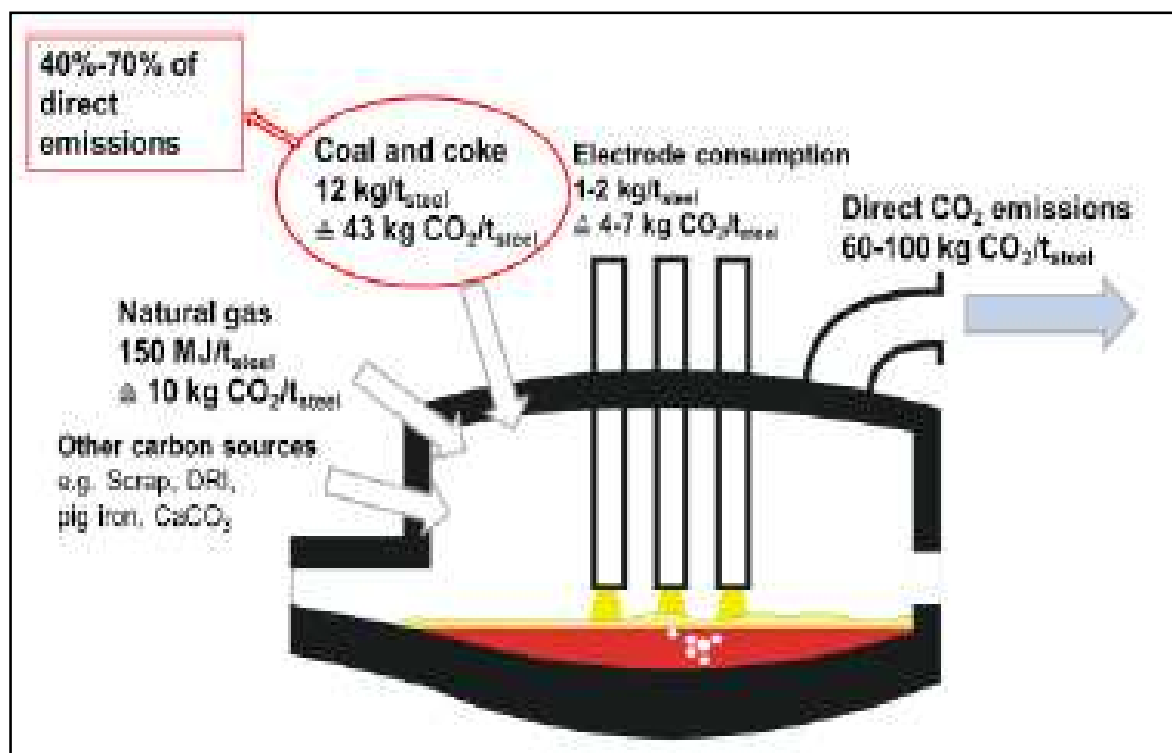
منبع:

F. Markus Penz and et al, *Analytical and numerical determination of the heat transfer coefficient between scrap and hot metal based on small-scale experiments*, International Journal of Heat and Mass Transfer 138 (2019) 640–646.

استفاده از افزودنی پوسته هسته نخل^۱ (PKS) در کوره قوس الکتریکی

تقریباً برای تهیه هر تن فولاد خام، حدود ۱۲ الی ۱۵ کیلوگرم کک استفاده می‌شود. در کل در EAF مقدار ۶۰ الی ۱۰۰ کیلوگرم گاز CO_2 به ازای تولید هر تن فولاد تولید می‌شود که بسته به تجهیزات و مواد مورد استفاده حدود ۴۰ الی ۷۰ درصد این مقدار مربوط به بخش استفاده از سوخت‌های فسیلی در هنگام تهیه ذوب است (شکل ۱). به دلیل همین میزان حجم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌توان به جایگزینی زغال سنگ با مواد بیوژنیک به عنوان مطلوب‌ترین روش در حفظ محیط زیست اشاره نمود.

استفاده از روش کوره‌های قوس الکتریکی از جمله مسیرهای اصلی تولید فولاد خام در دنیا محسوب می‌شوند. در تولید فولاد خام توسط کوره قوس الکتریکی، قراضه فولاد، آهن اسفنجی، عناصر آلیاژی، سرباره‌ساز و کک (یا زغال سنگ) به کوره شارژ می‌شود و فرایند تهیه ذوب با انرژی الکتریکی انجام می‌شود. با این وجود در حال حاضر در کوره های EAF مدرن حدود ۴۰ درصد از انرژی مورد نیاز کوره توسط واکنش‌های شیمیایی حاصل از سوخت‌های فسیلی (کک، ذغال سنگ، آنتراسیت، کک نفتی و ...) تأمین می‌شود که



شکل ۱. انتشار CO_2 مستقیم از EAF.

نخل (PKS) است. این زیست‌توده در مقایسه با دیگر زیست‌توده‌ها دارای کربن زیاد و مقدار رطوبت اندک است (شکل ۲). همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته نیاز به فرایند خاص آماده‌سازی جهت کاهش مواد فرار ندارد. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود در مقایسه با آنتراسیت مقدار انتشار گاز مونواکسید کربن در زمان استفاده از PKS در کوره بسیار کاهش یافته است. در آنالیز گاز خروجی آنتراسیت حضور H_2 نیز نشان داده شده است که در PKS وجود ندارد. علاوه بر این، در نمونه آنتراسیت انتشار مستقیم و بسیار کمی از گازها نشان داده شده است. از آنجایی که PKS یک ماده آلی کربونیزه‌شده نیست، غلظت اکسیژن در آن زیاد است. این اکسیژن داخلی در دماهای

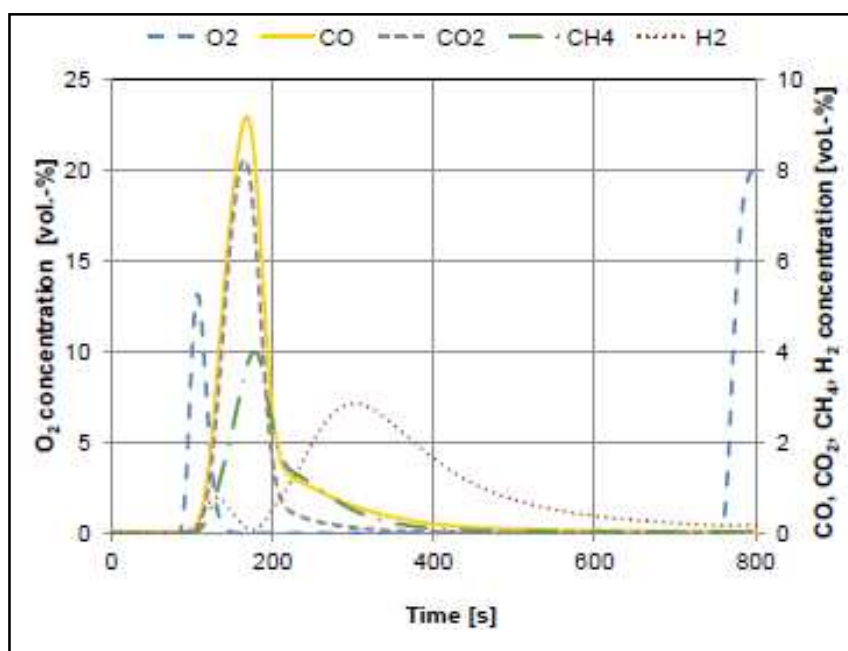
تاکنون مطالعاتی فراوانی در استفاده از مواد بیوژنیک مختلف در EAF بررسی شده است؛ اما جنبه اصلی که منجر به محدودیت استفاده از آن‌ها شده است، خطر انفجار یا آتش‌سوزی در هنگام استفاده و خطرات احتمالی برای کارکنان است. به‌طور کلی دو شاخص اصلی سرعت واکنش را کنترل می‌نماید که شامل ترکیب شیمیایی (مقدار مواد فرار) و سطح قابل دسترس است. به همین منظور اعمال فرآیند آگلومراسیون روی مواد بیوژنیک مختلف می‌تواند این دو جنبه را بهینه نماید که این امر باعث افزایش هزینه تولید خواهد شد.

یکی از زیست‌توده‌هایی که می‌توان بدون استفاده از فرایند خاصی درون EAF استفاده نمود، پوسته هسته

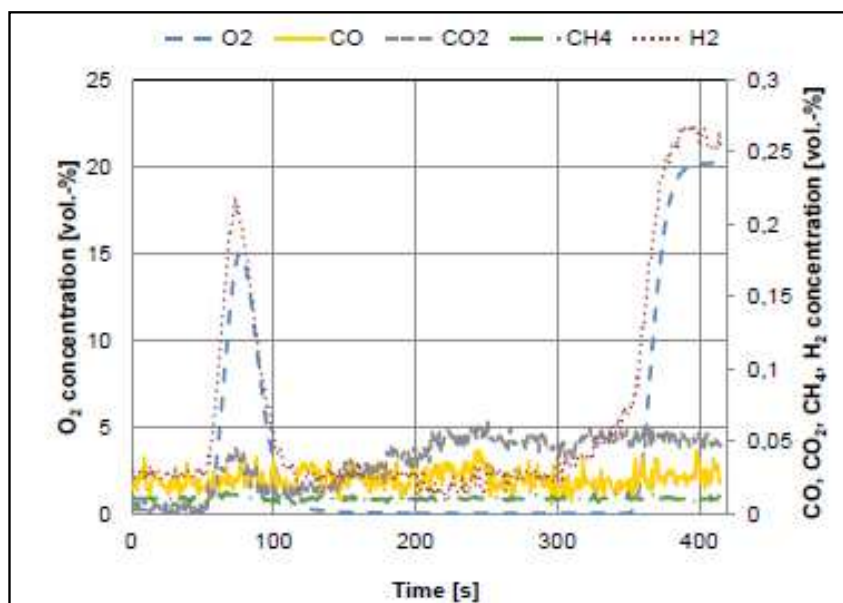


شکل ۲. پوسته هسته نخل (PKS)

بالا با کربن موجود در مواد واکنش نشان می‌دهد که غلظت دی‌اکسید کربن نسبتاً زیاد اندازه‌گیری شده در گاز خروجی را توجیه می‌نماید. بنابراین PKS بهترین جایگزین سوخت‌های فسیلی در کوره قوس الکتریکی به‌شمار می‌رود که اکنون در برخی از واحدهای فولادسازی تا ۱۴۰۰ تن از آن در کوره‌های صنعتی قوس الکتریکی استفاده می‌شود و هیچ‌گونه اثر سوءای از آن در تولید گزارش نشده است. همچنین به‌کارگیری از آن نیاز به آماده‌سازی جهت کاهش مواد فرار ندارد و خطر انفجار یا آتش‌سوزی اپراتورها را تهدید نمی‌کند.



الف) پوسته هسته نخل



ب) آنتراسیت

شکل ۳. آنالیز گاز خروجی به هنگام استفاده از مواد مختلف در کوره.

منبع:

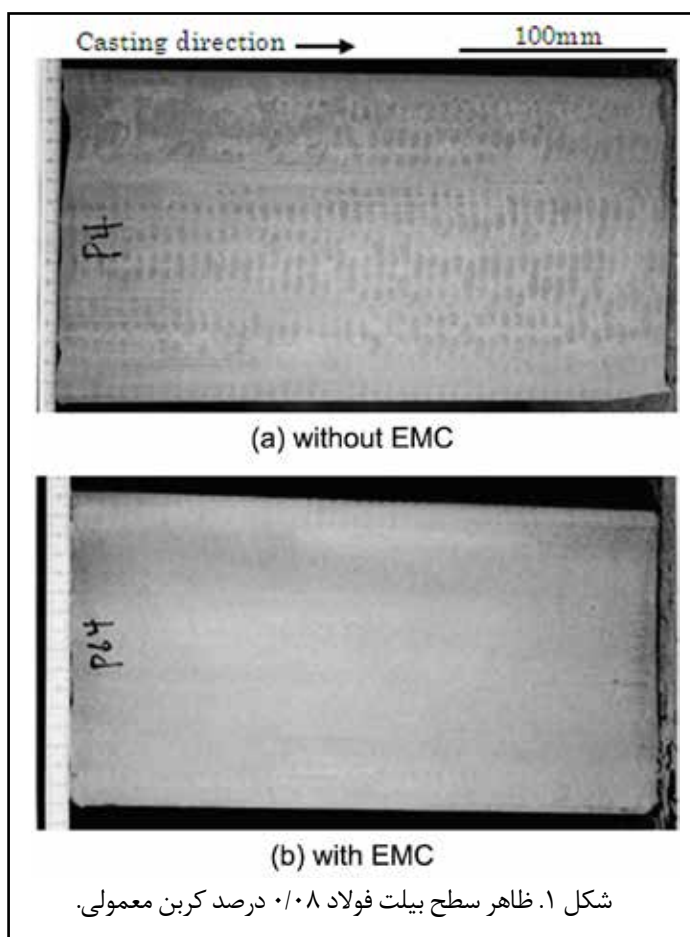
A. Kalde, T. Demus, T. Echthorff and H. Pfeifer, determining the reactivity of biochar-agglomerates to replace fossil coal in electric arc furnace steelmaking, ۲۳rd European Biomass Conference and Exhibition, ۱-۴ June ۲۰۱۵, Vienna, Austria

استفاده از نیروی الکترومغناطیسی پالسی در ریخته‌گری تختال

از جمله مزیت مهم این تکنولوژی عدم استفاده از فرایندهای پرهزینه پالایش سطحی بیلت قبل از نورد گزارش شده است. در شکل ۱ تصاویر ماکروسکوپی سطح بیلت تهیه‌شده برای دو روش معمولی و استفاده از تکنولوژی EMC مقایسه شده داده است. ملاحظه می‌شود که کیفیت سطحی بیلت تهیه‌شده با استفاده از تکنولوژی EMC به شدت بهبود یافته است. این شرکت در جهت پیشبرد اهداف خود در سال‌های بعد تکنولوژی استفاده از نیروی الکترومغناطیسی را به‌طور آزمایشی در خط ریخته‌گری تختال آزمایش نمود که مشاهده شد کیفیت سطح تختال به‌طور چشم‌گیری بهبود می‌یابد. اصول اولیه EMC در شکل ۲ نشان داده شده که با روش

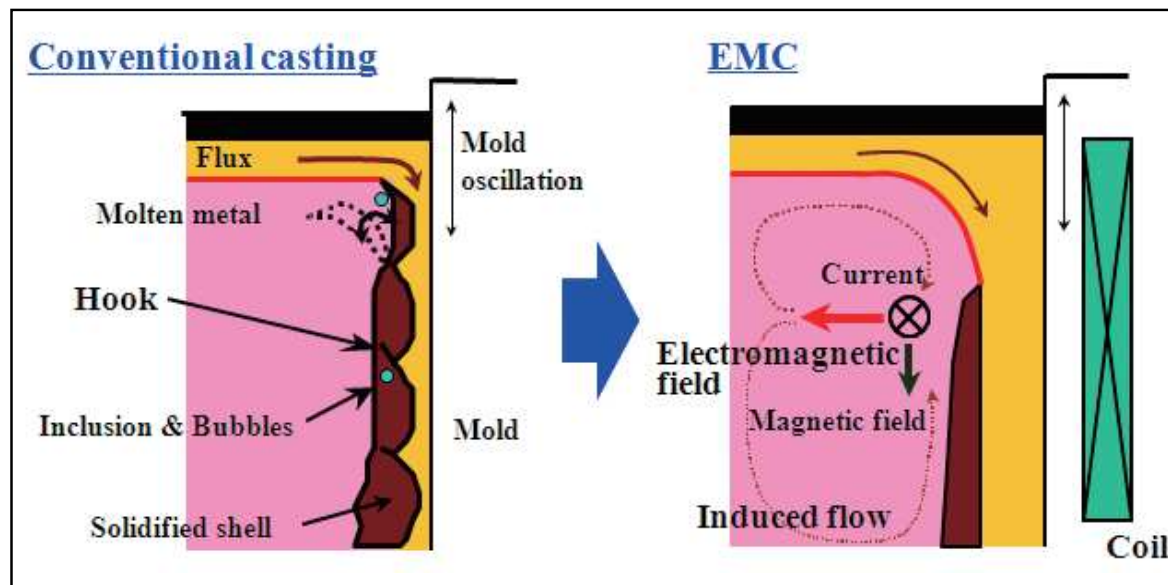
ریخته‌گری الکترومغناطیسی (EMC) یک نسخه اصلاح‌شده ریخته‌گری پیوسته است که در آن نیروی الکترومغناطیسی به پوسته اولیه جامد تشکیل‌شده درست در زیر منیسک فولاد مذاب در قالب اعمال می‌شود. با استفاده از این فناوری می‌توان پدیده جامد اولیه فولاد مذاب را کنترل نمود و کیفیت سطح تختال را بهبود بخشید.

شرکت Nippon Steel جهت افزایش کیفیت سطحی تختال روش استفاده از نیروی الکترومغناطیسی پالسی را مطرح کرده است. این شرکت قبلاً این تکنولوژی را روی فرایند ریخته‌گری بیلت به‌طور جدی انجام داده است و نتایج نشان داد که کیفیت سطحی به شدت افزایش می‌یابد.

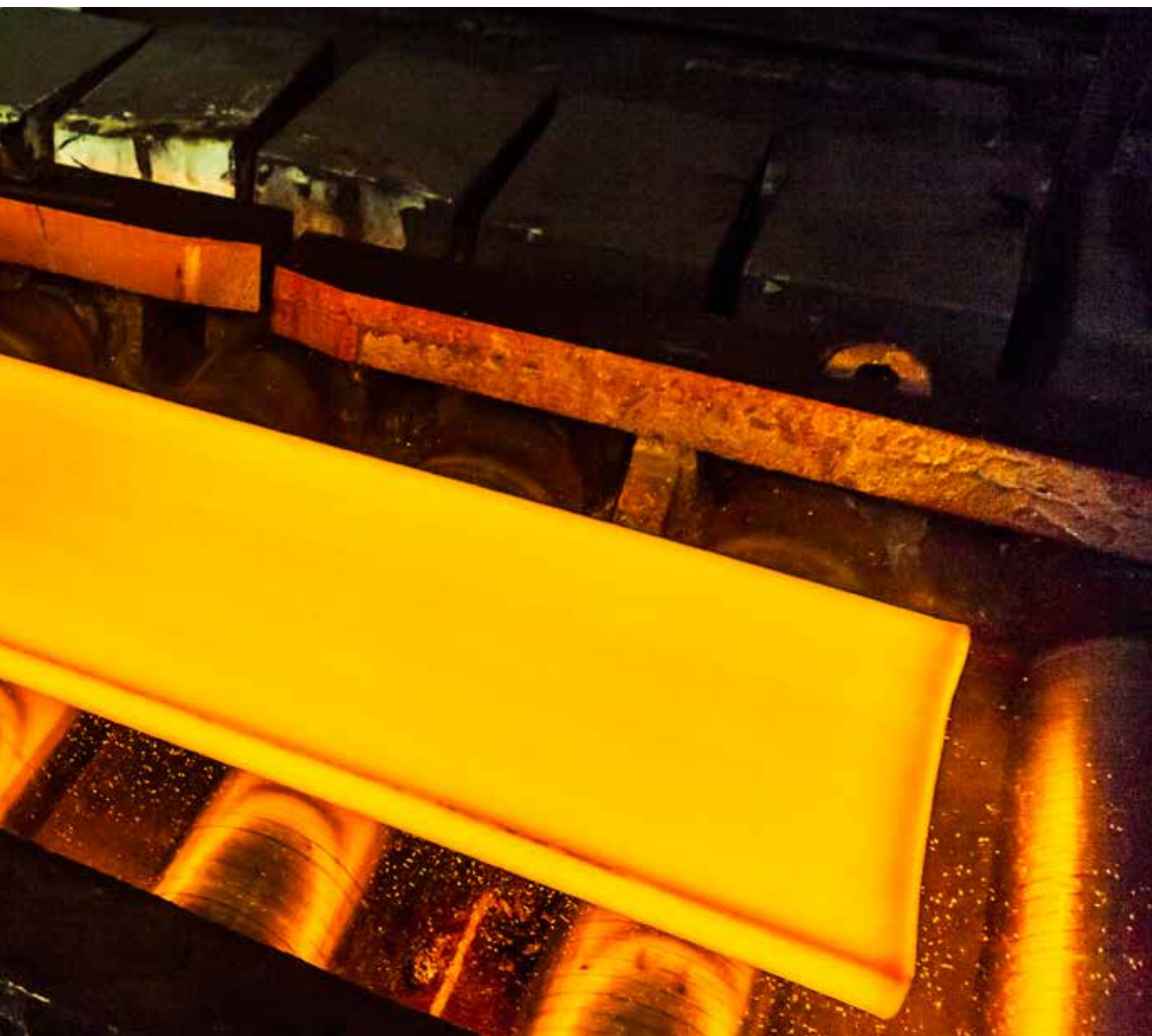


شکل ۱. ظاهر سطح بیلت فولاد ۰/۰۸ درصد کربن معمولی.

ریخته‌گری پیوسته معمولی مقایسه شده است. در فرایند ریخته‌گری مداوم، لازم است که قالب با فرکانس چند هرتز و دامنه چندین میلی‌متر نوسان کند تا روان‌کاری کافی بین قالب و پیوسته جامد تشکیل شده تخطال حاصل شود. بنابراین در ریخته‌گری پیوسته، فشار این حالت روان‌کاری به‌صورت متناوب تغییر می‌کند و باعث



شکل ۲.



سطح تختال را بهبود می‌بخشد. با این حال، فناوری EMC دارای اشکالاتی می‌باشد. یکی از آنها این است که جریان فولاد مذاب تحریک‌شده ناشی از میدان الکترومغناطیسی آنقدر سریع است که منیسک فولاد مذاب از نظر زمان و مکان ناپایدار و نامنظم می‌شود و حفظ یک حالت تماس نرم پایدار در جهت ریخته‌گری غیرممکن می‌شود. بنابراین، EMC همیشه کیفیت سطح بهتری از تختال ریخته‌گری را ارائه نمی‌دهد. به عنوان ابزاری برای کاهش این اشکال، شرکت Nippon Steel فناوری جدیدی به نام ریخته‌گری الکترومغناطیسی پالسی ایجاد کرد. در EMC پالسی، یک میدان الکترومغناطیسی با عبور دادن جریان AC از طریق سیم‌پیچ با فرکانس ده‌ها هرتز به طور متناوب روی فولاد مذاب در قسمت اولیه جامدشده، اعمال می‌شود. با انجام این کار، می‌توان سرعت جریان فولاد مذاب تحریک‌شده ناشی از میدان الکترومغناطیسی را کنترل نمود.

منبع:

Nippon steel technical report No. 104, August 2013.

تشکیل دندانه‌های نوسانی با فواصل چند میلی‌متر در جهت ریخته‌گری (با عمق صدها میکرومتر) روی سطح تختال می‌شود. علاوه بر این در ریخته‌گری فولادهای معمولی کم‌کربن عیب هوک-شکل به دلیل همین اثرات نوسان‌ها مشاهده می‌شود. در فرایند EMC، جریان AC از یک سیم‌پیچ بسیار نزدیک به سطح مذاب عبور می‌کند و باعث القاء میدان مغناطیسی، تحریک جریان مذاب و انجماد پوسته می‌شود. به بیان دیگر، این منجر به ایجاد نیروی الکترومغناطیسی (در جهت قالب به سمت مذاب) می‌شود. سپس فشار استاتیکی مذاب فولاد در قسمت اولیه پوسته تشکیل‌شده کاهش می‌یابد و در این حالت ضخامت پوسته به صورت تماس نرم بین قالب و مذاب فولاد، افزایش می‌یابد. در حالت تماس نرم، تغییر دوره‌ای فشار مهار شده و قسمت اول جامدشده به آرامی خنک می‌شود. علاوه بر این، پوسته جامدشده فولادی توسط جریان مذاب تحریک‌شده با میدان الکترومغناطیسی تمیز می‌شود و علائم‌های نوسانی عیب هوک-شکل به طور قابل توجهی ناپدید می‌شوند یا کاهش می‌یابند. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که EMC به طور قابل توجهی کیفیت







انواع آسیاهای مورد استفاده در تولید کنسانتره سنگ آهن (آسیای گلوله‌ای، غلتمکی فشار بالا و برجی)

نویسندگان:
علی شعبانی
منصور طورانی
مهدی علی زاده
پژوهشکده فولاد،
دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده:

به منظور خردایش کانی‌های آهن جهت تولید کنسانتره مورد استفاده در فرایند گندله‌سازی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. معمولی‌ترین تکنولوژی به منظور آسیا نمودن استفاده از آسیای گلوله‌ای می‌باشد. با این وجود امروزه تکنولوژی‌های نوینی نظیر آسیای غلتمکی فشار بالا (HPGR) و آسیای برجی (Towermill) نیز برای تولید ذرات ریز و فوق‌ریز در صنایع مختلف نظیر صنایع آهن و فولاد استفاده می‌شود. به همین دلیل و به منظور آشنایی و مقایسه، در این مقاله به معرفی سه فرایند خردایش کانی‌های آهن (آسیای گلوله‌ای، آسیای غلتمکی فشار بالا و آسیای برجی) پرداخته شده است.

کلمات کلیدی:

خردایش کانی آهن، آسیای گلوله‌ای، آسیای غلتمکی فشار بالا، آسیای برجی

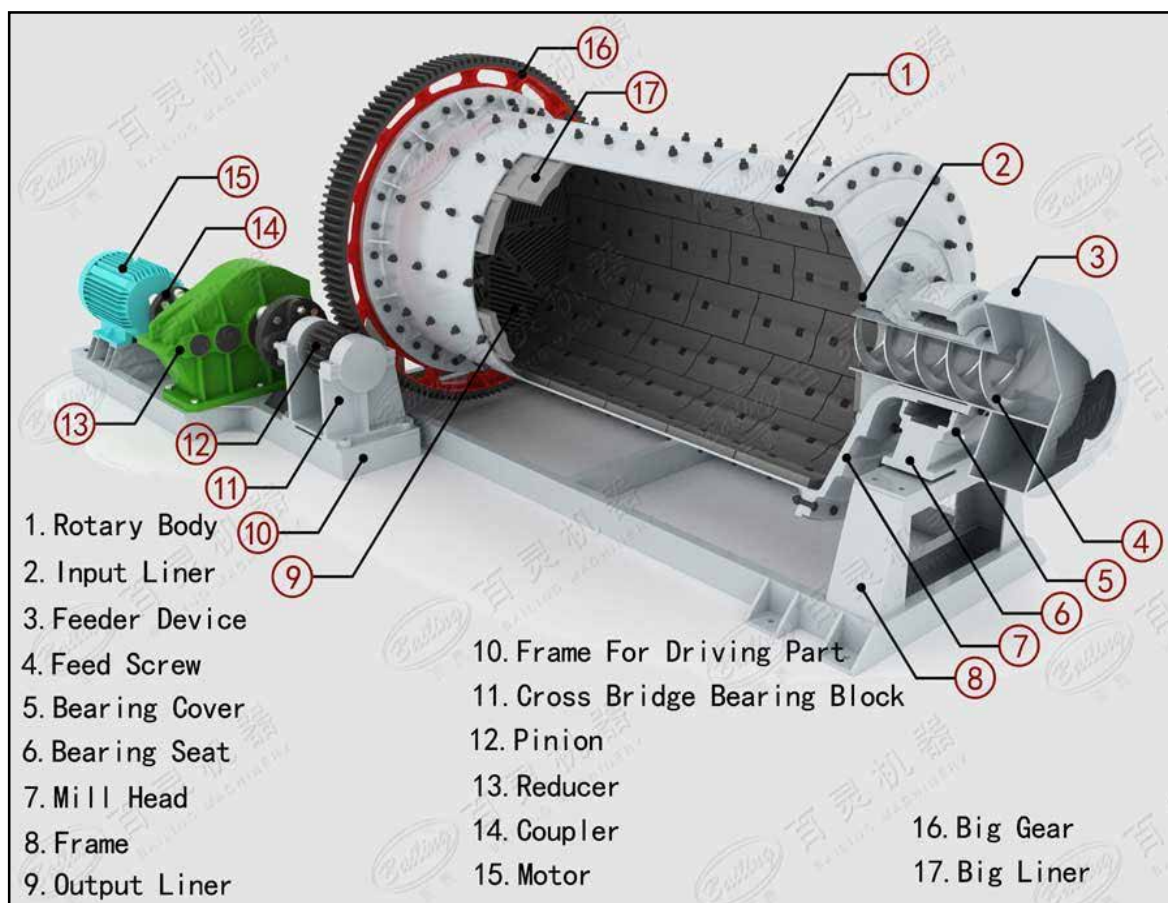


آسیای گلوله‌ای Ballmill معرفی آسیای گلوله‌ای

آسیای گلوله‌ای غلتان

آسیای گلوله‌ای، یک نوع پر کاربرد از آسیاها با یک سیلندر استوانه‌ای است که برای آسیا یا مخلوط کردن موادی همچون سنگ‌های معدنی، مواد شیمیایی، مواد سرامیکی خام و مواد رنگی استفاده می‌شود. آسیای افقی گلوله‌ای غلتان از یک استوانه توخالی که حول محوری افقی یا با زاویه‌ای اندک با افق دوران می‌کند تشکیل شده است. عملیات آسیا کردن توسط گلوله‌هایی از جنس فولاد (فولاد کروم)، فولاد ضد زنگ، یا سرامیک انجام می‌شود. سطح داخلی استوانه معمولاً با ماده‌ای مقاوم در برابر سایش مانند فولاد منگنز یا لاستیک پوشیده می‌شود. طول آسیا تقریباً ۱ تا ۱/۵ برابر با قطر آن است. شکل ۱ یک نمونه از آسیای افقی گلوله‌ای غلتان مورد استفاده در صنایع فولادسازی را نشان می‌دهد. در صنایع با میزان تولید بالا معمولاً از مدل آسیای افقی گلوله‌ای غلتان استفاده می‌شود. علی‌رغم این‌که استفاده از این نوع آسیاها کمی انرژی کمتری در این روش کاری را طولانی می‌کند، اما پودر تهیه شده در این روش از همگنی و یکنواختی بیشتری برخوردار است. علاوه بر این استفاده از این نوع آسیا نیازمند هزینه اولیه کمتر، راه‌اندازی ساده‌تر و هزینه نگهداری کمتر نسبت به مابقی مدل‌های آسیای گلوله‌ای است.

آسیای گلوله‌ای گونه‌ای از آسیاها صنعتی است که جهت تولید پودر نرم یا یکنواخت کردن مخلوط به کار می‌رود. در آسیای گلوله‌ای از گلوله‌های فولادی یا سرامیکی برای خرد و نرم کردن مواد غیرفلزی استفاده می‌کنند. عمده مصارف این نوع آسیا در تولید رنگ، سرامیک، سیمان، فولاد و مواد شیمیایی است. در این نوع از آسیاها از تعداد زیادی ساچمه فلزی یا سرامیکی استفاده می‌شود که با سازوکار همزن یا چرخش دوار آسیا به‌طور دائم بر روی هم حرکت کرده و ذرات درشت را خرد می‌کنند. آسیای گلوله‌ای یکی از تجهیزات اصلی مورد نیاز برای آسیا کردن مواد تکه‌تکه شده است، همچنین از آن به‌طور گسترده‌ای در خط تولید انواع پودر مانند سیمان، سیلیکات، مواد نسوز، کود، سرامیک شیشه‌ای و غیره استفاده می‌شود. آسیای گلوله‌ای در صنعت کانه‌آرایی فلزات آهنی و غیر آهنی نیز کاربرد دارد. آسیای گلوله‌ای می‌تواند سنگ‌های معدنی و مواد مختلف را، چه خیس و چه خشک، آسیا کند. هر نوع ماده آسیا خواص ویژه و مزایای خود را دارا است.



دوران می‌کنند، اما انواع کوچک آن معمولاً از یک استوانه سرپوشیده که روی دو محور متحرک سوار است، تشکیل می‌شود. آسیاهای گلوله‌ای باکیفیت بالا به‌طور بالقوه گران قیمت‌اند و می‌توانند مخلوط را به ذراتی تا ابعاد ۵ نانومتر آسیا کنند که به‌صورت فوق‌العاده‌ای سطح تماس و واکنش‌پذیری آن را بالا می‌برد. شکل ۲ نمای داخلی یک آسیای افقی گلوله‌ای غلتان بزرگ مورد استفاده در صنایع فولادسازی را نشان می‌دهد.

در آسیاهای گلوله‌ای، محفظه خردایش تا حجم مشخصی از خوراک و گلوله‌های آسیا کننده شارژ شده و حول یک محور افقی دوران می‌کنند. حرکت آبشاری گلوله‌ها در داخل سیلندر و سقوط آن‌ها روی ماده سبب می‌شود تا پودر با اندازه مطلوب حاصل شود. آسیاهای گلوله‌ای صنعتی این قابلیت را دارند که به‌صورت پیوسته کار کنند و ماده از یک سر به داخل آن ریخته شود و از انتهای آن خارج شود. آسیای گلوله‌ای‌های بزرگ تا متوسط به‌صورت مکانیکی حول محور خود



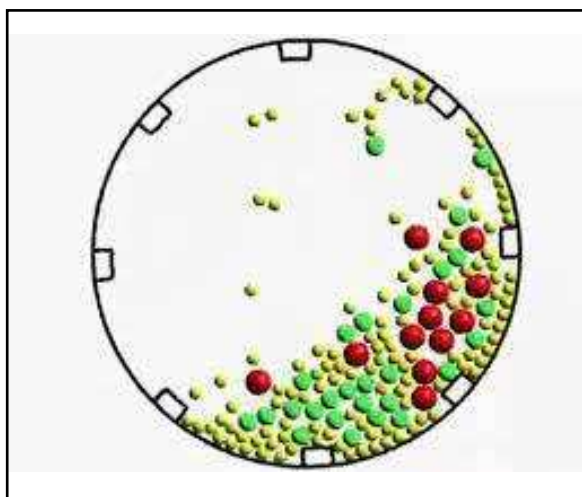
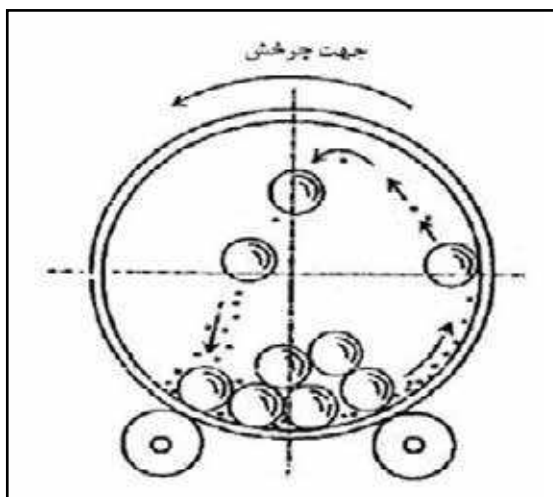
شکل ۱. نمونه‌ای از آسیای افقی گلوله‌ای غلتان.



شکل ۲. نمای داخلی یک آسیای افقی گلوله‌ای غلتان بزرگ.

به بدنه نشود. شکل ۳ شماتیک عملکرد این نوع آسیا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سرعتی کمتر از حد بحرانی گلوله‌ها در میانه راه بالا رفتن از بدنه، پایین افتاده و باعث ایجاد ضربه به مواد درون آسیا می‌شوند.

عمل آسیا کردن بر اساس اصول سرعت بحرانی انجام می‌شود. سرعت بحرانی سرعتی است که در آن گلوله‌ها به دیواره سیلندر چسبیده و همراه آن حرکت می‌کنند و حالت سانتریفیوژ رخ می‌دهد، بنابراین عمل آسیا کردن مختل می‌شود. در نتیجه سرعت حرکت باید از حد بحرانی کمتر باشد تا باعث چسبیدن مواد داخل آسیا



شکل ۳. مکانیزم عملکرد آسیای افقی گلوله‌ای غلتان.



۳-۱- پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد آسیای گلوله‌ای

خواص کلیدی ماده آسیا کننده عبارت‌اند از اندازه، چگالی، سختی، ترکیب آن که در مورد هر کدام از موارد ذکر شده در ادامه توضیحاتی ارائه می‌شود.

اندازه: هر چه اندازه ماده آسیا کننده کوچک‌تر باشد پودر تولید شده نیز دارای ذرات ریزتری خواهد بود. این نکته قابل توجه است که اندازه گلوله‌ها باید از اندازه ذرات ماده‌ای که قرار است آسیا شود به‌صورت قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر باشد.

چگالی: گلوله‌ها باید از ماده ورودی چگال‌تر باشند. زیرا شناور شدن گلوله‌ها روی ماده ورودی مشکل‌ساز است. سختی: ماده آسیا کننده باید به‌اندازه کافی بادوام باشد تا ماده ورودی را آسیا کند و در همین حال نباید به‌اندازه‌ای سخت باشد که باعث خوردگی محفظه در سرعت‌های بالا شود.

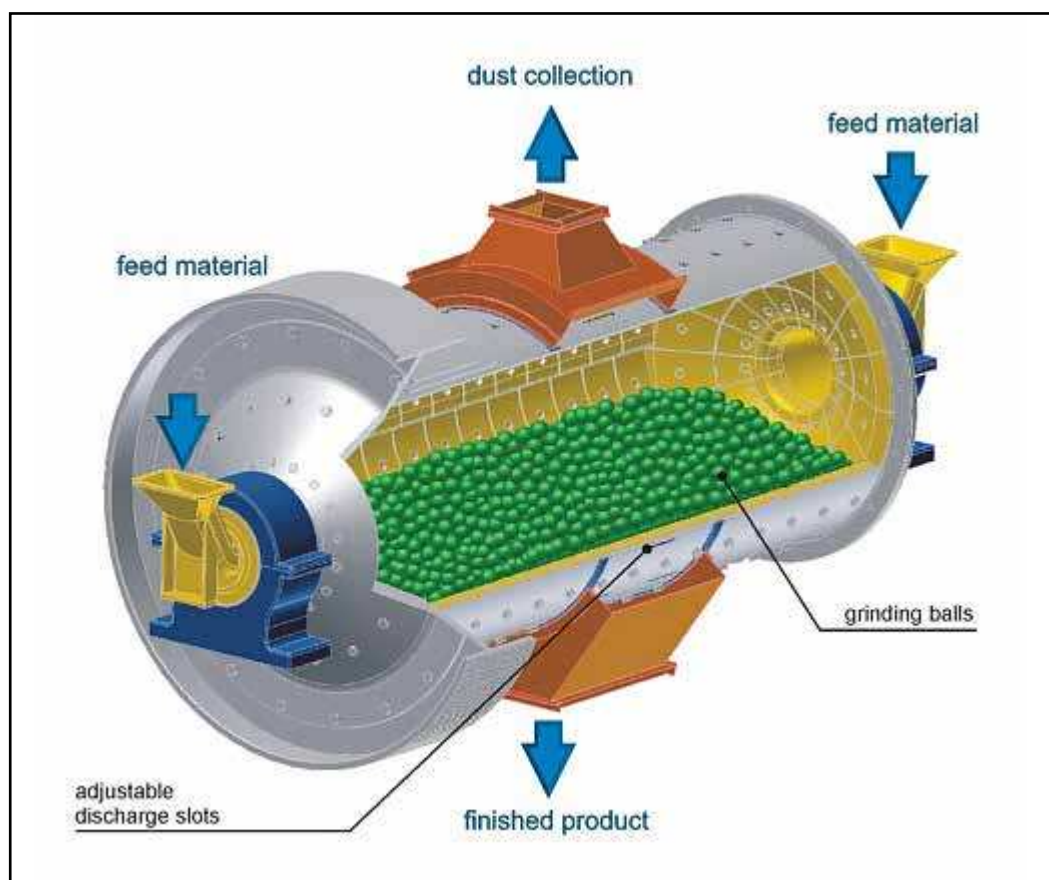
ترکیب: برای کاربردهای مختلف آسیا، ملزومات خاصی وجود دارد. برخی از این ملزومات بر این اساس تعیین می‌شوند که مقداری از ماده آسیا کننده در محصول نهایی وجود خواهد داشت. باقی شرایط بر این اساس هستند که ماده آسیا کننده با ماده ورودی واکنش دهد. در مواردی که رنگ محصول نهایی اهمیت دارد، رنگ گلوله‌های آسیا کننده نیز باید در نظر گرفته شود.

در مواردی که کم بودن آلودگی‌ها اهمیت دارد، جنس گلوله‌ها باید به‌صورتی انتخاب شود که به‌راحتی بتوان آن را از محصول نهایی جدا کرد (برای مثال گرد فولاد ایجاد شده از گلوله‌های فولادی زنگ نزن، به‌راحتی توسط آهنربا از محصولات غیر آهنی جدا می‌شود). راه حل جایگزین هم استفاده از گلوله‌هایی هم‌جنس با محصول نهایی است.

مواد قابل اشتعال در حالت پودر قابلیت انفجار دارند. گلوله‌های فولادی ممکن است جرقه بزنند و زمینه احتراق این محصولات را فراهم کنند. در این گونه موارد باید مواد آسیا کننده به‌صورتی انتخاب شوند که جرقه نزنند (مانند سرامیک یا سرب) یا اینکه از آسیای گلوله‌ای خیس استفاده شود.

بعضی از مواد آسیا کننده مانند آهن، ممکن است با مواد خورنده واکنش دهند. به این سبب، در مواردی که مواد خورنده در فرایند آسیا کردن وجود دارند، فولاد ضد زنگ و سنگ چخماق به‌عنوان جنس گلوله‌ها انتخاب می‌شوند.

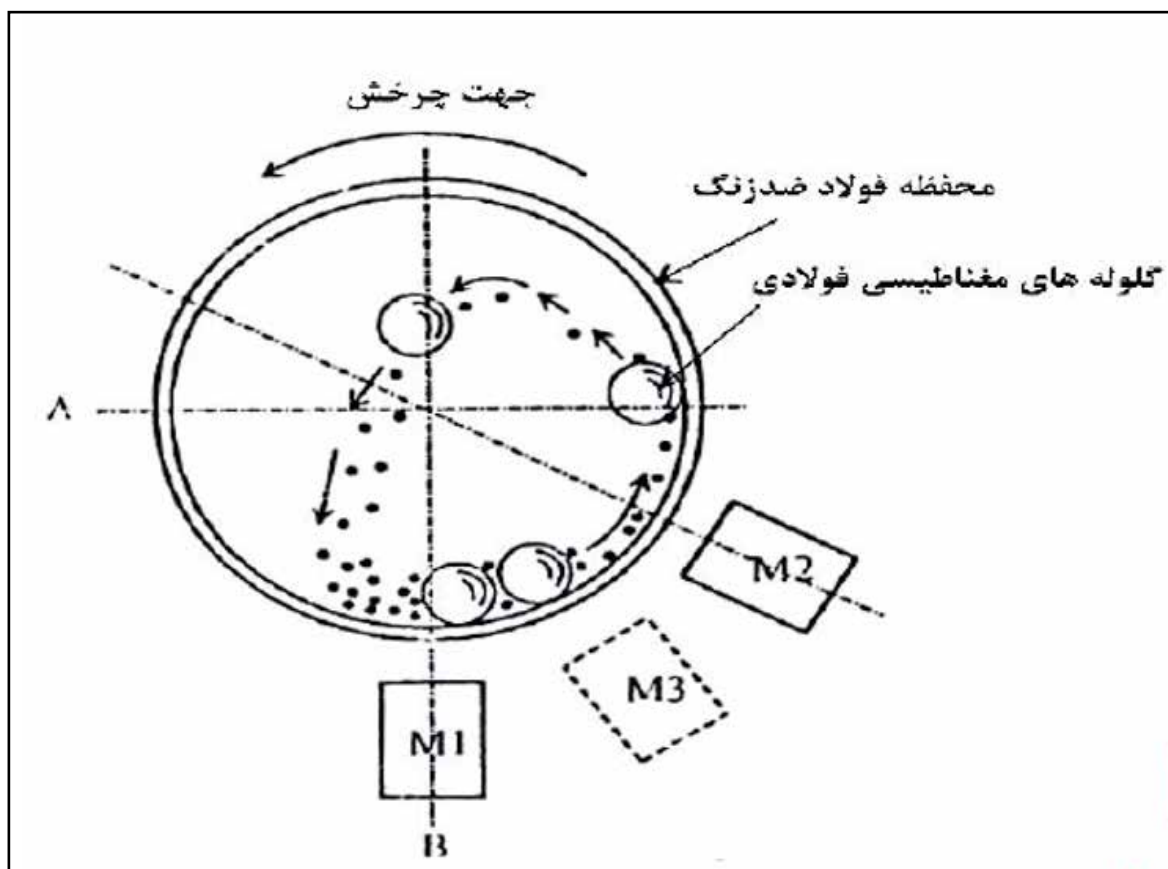
محفظه آسیا را می‌توان با یک گاز بی‌اثر به‌عنوان محافظ پر کرد که با ماده‌ای که می‌خواهیم آسیا کنیم واکنش نمی‌دهد. با این کار از اکسید شدن یا انفجار محصول توسط گاز محیط اطراف جلوگیری می‌کند.



۴-۱- انواع گلوله‌های آسیا

گلوله‌های فولادی فورج سخت شده برای آسیاهای گلوله‌ای زمانی که سایش شدید و مقاومت شیمیایی مورد نیاز است، بسیار مناسب هستند. همچنین مواقعی که ایجاد حرارت برای فرایندهای آسیا و پراکندگی تعیین کننده است، می‌توان از این گلوله‌ها استفاده کرد. ساچمه‌ها و گلوله‌های فولادی در آسیاهای سریع و عاری از آلودگی (تر یا خشک) جامدات، پراکندگی مایعات و کاهش اندازه ذرات ریز، همگن سازی فیلرها و مواد خام، کاربردهای سایشی و گردسازی در آسیاهای گلوله‌ای، لغزشی، دینو، دانه‌ای، افقی یا عمودی کاربرد فراوانی دارند. فولاد آلیاژی به دلیل دانسیته و سختی نسبی بالای آن‌ها مصارف خاصی در سنگ شکن‌ها و مخلوط کردن مواد سخت و سنگین دارند. همچنین در آسیاهایی که فشارها و ضربات شدیدی اعمال می‌شود یا در فرایندهای مختلف سنگ شکنی از این نوع فولادها استفاده می‌شود. گلوله‌های فولادی فورج شده نیز مزایای بسیاری را در کاهش اندازه ذرات و پراکنش ریز سیالاتی با گرانیروی بالا از خود ارائه می‌دهند. به‌طور معمول گلوله‌های فولادی کربنی برای آسیاهای دانه‌ای با سرعت پایین از قبیل آسیاهای فلزات یا

پودرهای شیمیایی استفاده می‌شوند. در فرایندهای آسیاهای گلوله‌ای با سرعت بالا که در ساخت رنگ‌ها، جوهرها یا پودرهای رزینی کاربرد دارند، عموماً از گلوله‌های فولادی آلیاژی کرم‌دار به دلیل استحکام و مقاومت بالای آن‌ها استفاده می‌شود. از اصلاحات صورت گرفته روی آسیای افقی گلوله‌ای غلتان، استفاده از میدان‌های مغناطیسی جهت کنترل حرکت گلوله‌ها است. این مورد در شکل ۴ به صورت شماتیک نشان داده شده است. بسته به فاصله آهنرباها و گلوله‌ها، انرژی ضربه ناشی از برخورد قابل کنترل بوده و برای هر نوع ماده یک انرژی مشخص انتخاب می‌شود. در این صورت با یک میدان مغناطیسی تنظیم شده جرم مؤثر گلوله‌ها، تا حدود ۸۰ برابر افزایش می‌یابد. بر اساس موقعیت آهنرباها، بزرگی میدان مغناطیسی و در نتیجه میزان انرژی منتقل شده به ذرات پودر تغییر می‌کند. مطابق شکل ۴، انرژی اصطکاکی توسط تغییر شدت میدان آهنربای M1 عوض می‌شود. در حالی که آهنربای M2 جهت افزایش انرژی جنبشی گلوله‌ها به کار می‌رود. حالت پر انرژی برای آسیا با انتخاب مکان مناسب این آهنرباها حاصل می‌شود. برای ایجاد حالت کم انرژی موقعیت M3 مناسب است.



شکل ۴. استفاده از میدان‌های مغناطیسی جهت کنترل حرکت گلوله‌ها در آسیای افقی گلوله‌ای.

این استقرار به مکانیزم سایش بسیار کمک می‌کند.

ب- استوانه‌ای

اگر بدنه آسیای گلوله‌ای به صورت استوانه‌ای ساخته شود، دیگر مزیت فوق را ندارد ولی از طرفی ساخت آن ساده‌تر و ارزان‌تر است. اگر بخواهیم مزیت جدا شدن گلوله‌ها را در آسیای گلوله‌ای استوانه‌ای داشته باشیم باید آن را به چند محفظه تقسیم و در هر محفظه گلوله‌ها با سایز متفاوت قرار داد، در واقع باید از آسیای لوله‌ای استفاده کرد.

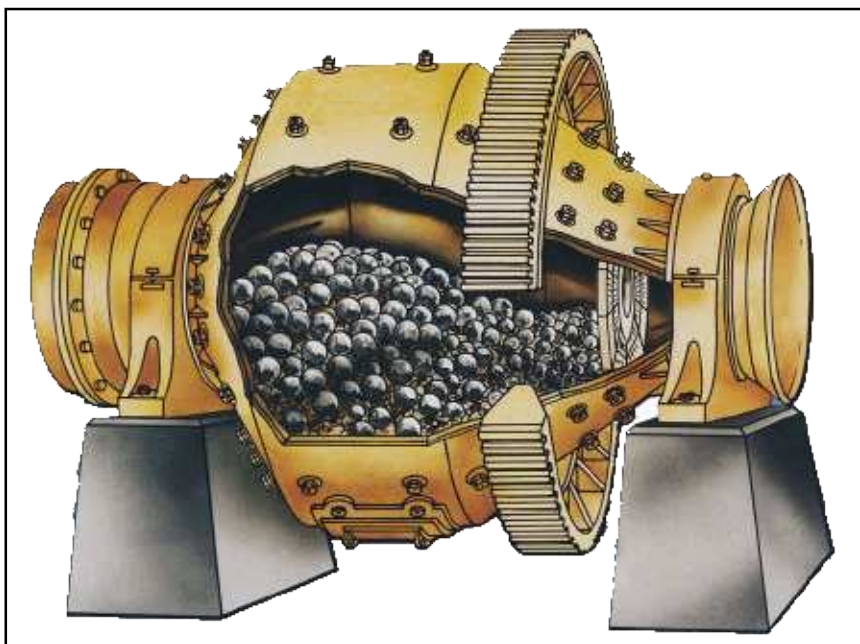
۱-۵- انواع آسیای گلوله‌ای

آسیاهای گلوله‌ای را بر اساس معیارها مختلف به انواع مختلفی می‌توان تقسیم کرد که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

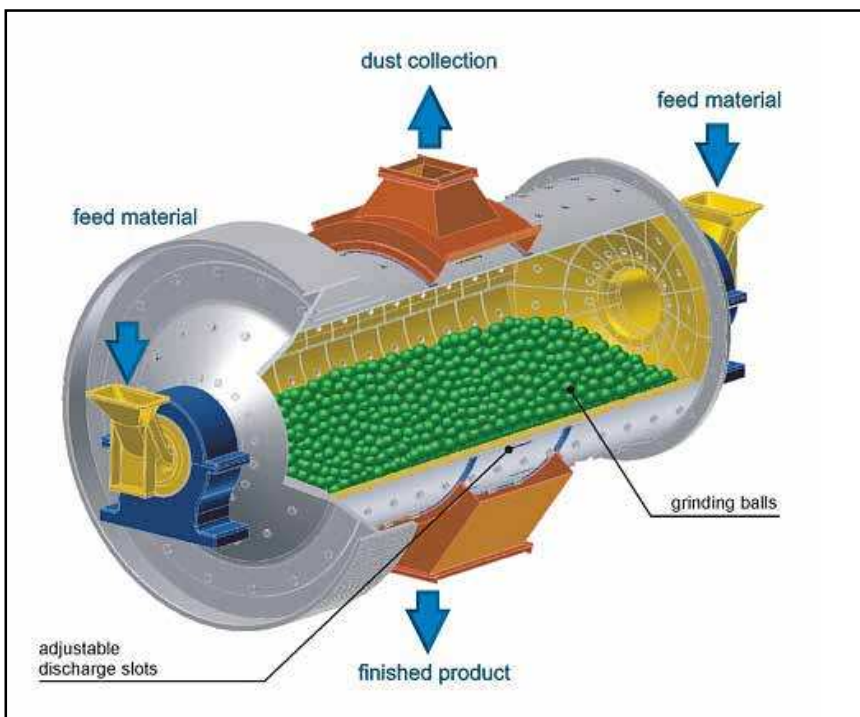
۱-۵-۱- بر اساس نوع بدنه

الف- مخروطی

اگر بدنه آسیای گلوله‌ای به صورت مخروطی ساخته شود، در حرکت باعث می‌شود، گلوله‌های درشت در ابتدای آسیا و گلوله‌های ریز در انتهای آسیا تجمع یابند. که



الف- مخروطی



ب- استوانه‌ای

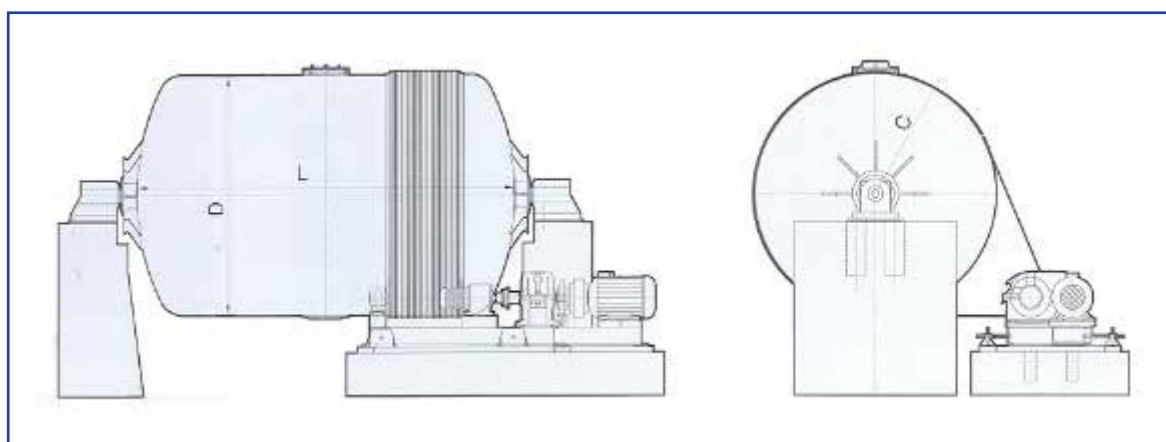
۱-۵-۲- بر اساس نحوه ورود و خروج مواد

الف- ناپیوسته

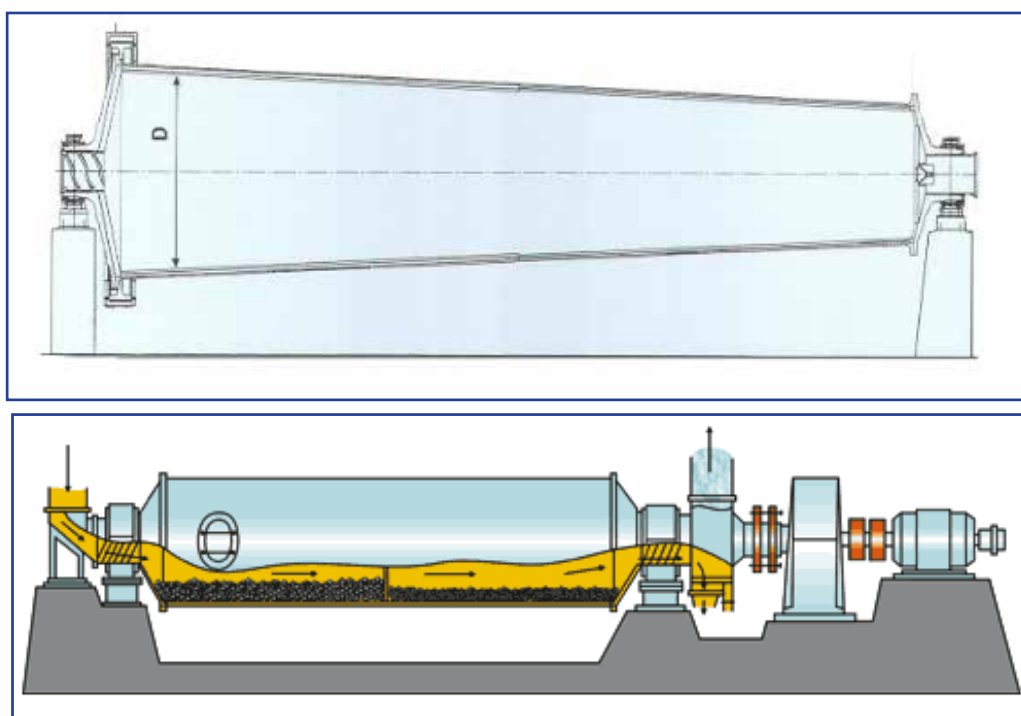
نحوه عملکرد آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته به این صورت است که مواد اولیه به همراه گلوله‌ها به صورت یکجا و به میزان ظرفیت آسیای گلوله‌ای درون آن ریخته می‌شود و تا زمان معینی تحت سایش قرار می‌گیرد. سپس آسیای گلوله‌ای متوقف شده و مواد ساییده شده خارج می‌شوند و این عمل گاهی چند بار تکرار می‌شود. شکل ۵ شماتیک یک آسیای گلوله‌ای ناپیوسته را نشان می‌دهد.

ب- پیوسته

در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته مواد اولیه به‌طور پیوسته از یک سمت داخل آسیای گلوله‌ای می‌شوند، و پس از ساییده شدن از طرف دیگر آسیای گلوله‌ای خارج می‌شوند. به همین علت نیازی به متوقف کردن آسیای گلوله‌ای برای بارگیری و تخلیه کردن آن نیست. حتی در نوع مخروطی این نوع آسیای گلوله‌ای برای شارژ گلوله لازم نیست آسیای گلوله‌ای را متوقف کرد، و گلوله‌ها را همراه مواد اولیه داخل آسیای گلوله‌ای می‌کنند. شکل ۶ یک طرح شماتیک از آسیای گلوله‌ای پیوسته مخروطی را نشان می‌دهد.



شکل ۵. آسیای گلوله‌ای ناپیوسته.



شکل ۶. آسیای گلوله‌ای پیوسته مخروطی.

۶-۲- مزایای استفاده از آسیای گلوله‌ای پیوسته

به علت مزیت‌های فراوان آسیاهای گلوله‌ای پیوسته بسیاری از صنایع با حجم تولید بالا تمایل به استفاده از این نوع آسیای گلوله‌ای دارند. در زیر به تعدادی از این مزایا اشاره می‌شود:

الف) بالا بودن کمیت و کیفیت تولید:

در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته مواد به محض اینکه به میزان لازم ساییده شدند از آسیای گلوله‌ای خارج شده و جایشان را مواد خام می‌گیرد. در صورتی که در آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته همه مواد تا پایان فرایند سایش در داخل آسیای گلوله‌ای می‌مانند.

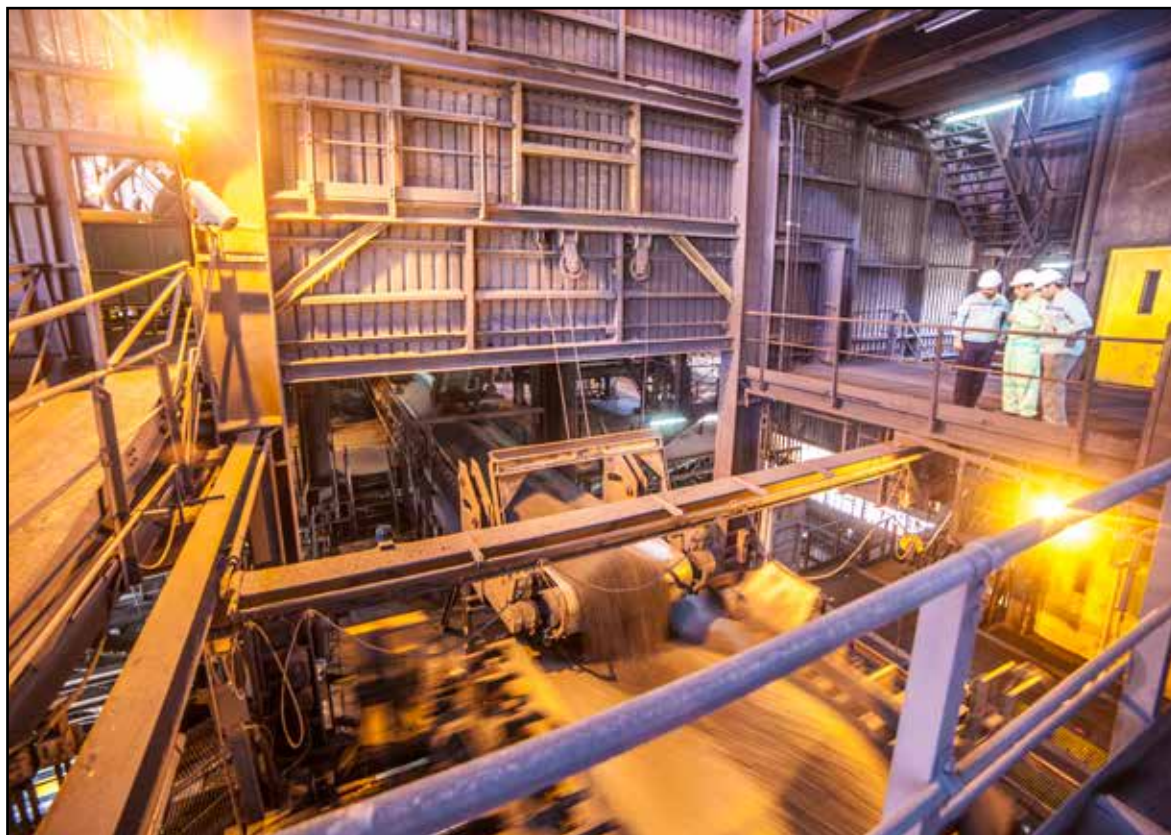
به همین علت، در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته علاوه بر راندمان و سرعت بالاتر، محصول یکنواخت‌تری نسبت به آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته خواهیم داشت. همچنین این باعث می‌شود برای تولید میزان یکسان از مواد ساییده شده، در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته انرژی کمتری مصرف شود. در ضمن به این نکته نیز باید توجه کرد که زمان‌های توقف در آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته باعث کاهش میزان تولید می‌شود.

علت استفاده از آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته ارزان بودن آن است. با توجه به ارزان بودن تسمه و پولی نسبت به چرخ‌دنده، سیستم انتقال قدرت در آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته از نوع تسمه و پولی است. به علت راندمان پایین تسمه و پولی در انتقال قدرت، عمده‌تاً کل فضای

آسیای گلوله‌ای ناپیوسته را از گلوله و مواد پر می‌کنند تا نیاز به نیروی کمتری برای چرخاندن داشته و تسمه و پولی قادر به چرخاندن آسیای گلوله‌ای باشد. در غیر این صورت ممان ایجاد شده توسط وزن محتویات آسیای گلوله‌ای، باعث لغزش تسمه بر روی بدنه آسیای گلوله‌ای می‌شود. با توجه به توضیحات فوق واضح است که استفاده از تسمه و پولی تا چه میزان راندمان سایش را پایین می‌آورد و تنها توجیه استفاده از آن قیمت پایین آن است. در صورتی که در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته حداکثر تا نیمه‌پر می‌شود، که این به شدت در بهبود مکانیزم سایش کمک می‌کند.

ب) کاهش فضای لازم برای ماشین آلات:

به علت پایین بودن سرعت و کمیت تولید محصولات در آسیای گلوله‌ای‌های ناپیوسته، برای تولید میزان مشخصی از محصولات، نیاز به استفاده از تعداد بیشتری از این نوع آسیای گلوله‌ای نسبت به آسیاهای گلوله‌ای پیوسته وجود دارد. بنابراین استفاده از آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته فضای بیشتری را در کارخانه اشغال می‌کند. البته باید این نکته ذکر شود که چون یک آسیای گلوله‌ای پیوسته جای چندین آسیای گلوله‌ای ناپیوسته را می‌گیرد، در مواقع بروز مشکل، اگر سریع رفع نشود خسارت زیادی به سودآوری شرکت وارد می‌شود. این نکته اهمیت بیشتر نگهداری را در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته می‌رساند.



ج) انجام فرآیند به صورت تمام خودکار با یک کنترل مرکزی و تعدیل نیروی انسانی:

به علت انجام فرآیند به صورت پیوسته و ثابت بودن بسیاری از پارامترهای کنترلی خودکار سازی آسیاهای گلوله‌ای پیوسته بدون دخالت انسان ساده‌تر و کم هزینه‌تر خواهد بود. علاوه بر این از آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته فقط به علت قیمت کمتر آن نسبت به آسیاهای گلوله‌ای پیوسته استفاده می‌شود. بنابراین با خودکار سازی کامل آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته، استفاده از این نوع آسیای گلوله‌ای دیگر توجیه اقتصادی نخواهد داشت.

د) کاهش هزینه تولید:

آسیاهای گلوله‌ای پیوسته در مقایسه با تعداد مشابه از آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته برای تولید میزان مشخصی محصول دارای قیمت بالاتری هستند و برای کارخانه‌های با حجم تولید پایین استفاده از آسیاهای گلوله‌ای پیوسته مقرون به صرفه نیست. ولی با توجه به مصرف انرژی پایین‌تر و هزینه تولید کمتر، در حجم تولید بالا در دراز مدت استفاده از آسیاهای گلوله‌ای پیوسته مقرون به صرفه‌تر است.

ه) کاهش هزینه در فرآیند خشک کردن:

در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته به دلایل زیر در فرآیند خشک کردن انرژی کمتری مصرف می‌شود:

۱- محصول خروجی آسیاهای گلوله‌ای دارای درجه حرارت بالایی است. در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته به علت این که فرآیند به صورت پیوسته و خودکار انجام می‌شود، محصول بلافاصله بدون از دست دادن درجه حرارت به خشک کن منتقل می‌شود و در نتیجه انرژی کمتری برای خشک کردن آن نیاز است. ولی در آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته به علت وقفه افتادن در انتقال به خشک کن باید انرژی بیشتری را صرف خشک کردن کرد.

۲- در آسیاهای گلوله‌ای برای کاهش ویسکوزیته، همراه با مواد اولیه مقداری روان ساز داخل آسیای گلوله‌ای می‌شود. در آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته به علت طولانی شدن فرآیند سایش اثرات روان ساز کاهش می‌یابد و باعث می‌شود ویسکوزیته خروجی نسبت به آسیاهای گلوله‌ای پیوسته بیشتر باشد.

۳- در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته به علت نوع فرایند نیاز به اضافه کردن آب کمتری نسبت به آسیاهای گلوله‌ای



تلاش‌ها برای به‌کارگیری تجهیزات جدید در جهت کاهش مصرف انرژی سوق داده شده که یکی از این تجهیزات، آسیای غلتکی فشار بالا است. استفاده از آسیای غلتکی فشار بالا به دلیل پیشرفت در صنایع ریخته‌گری و تولید آسترهای مقاوم در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. افزایش ۴۰ تا ۶۰ برابری نیروی وارد شده در محدوده بین غلتک‌ها موجب خردایش انتخابی و افزایش درجه آزادی می‌شود. ظرفیت عملیاتی، ریزی محصول، مصرف انرژی، فشار هیدرولیکی مورد نیاز و فاصله موجود بین غلتک‌ها از جمله پارامترهای مؤثر بر کارکرد آسیای غلتکی فشار بالا است. خردایش در HPGR در سه منطقه انجام می‌شود که به دلیل تفاوت در مکانیزم‌های خردایش مناطق، مدل خردایش، مدل ظرفیت و مدل توان متفاوت از آسیاهای رایج است. استفاده از HPGR موجب افزایش بازیابی و کاهش اتلاف ماده معدنی در فراوری ثقلی، افزایش بازیابی و کاهش مصرف مواد شیمیایی در فراوری به روش فلو تاسیون و افزایش بازیابی و سرعت انحلال در فراوری به روش هیدرو متالورژی می‌شود.

ناپیوسته داریم و علاوه بر این در خروجی آسیای گلوله‌ای می‌توانیم درصدی از آب را جدا کنیم و به آب ورودی آسیای گلوله‌ای اضافه کنیم. بنابراین به علت آب کمتر در محصول خروجی نیاز به انرژی کمتری برای خشک کردن آن داریم.

(و) صرفه‌جویی در مصرف انرژی:

علاوه بر دلایلی که در قسمت‌های فوق ذکر شد، برای راه‌اندازی آسیاهای گلوله‌ای تا زمانی که به سرعت بحرانی برسند، نیاز به انرژی فراوانی است، و به دلیل این که در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته این زمان‌های توقف حذف می‌شود، بنابراین در مصرف انرژی صرفه‌جویی فراوانی می‌شود. همچنین چون در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته از چرخ‌دنده و در آسیاهای گلوله‌ای ناپیوسته از تسمه و پولی برای انتقال قدرت استفاده می‌شود، تلفات انرژی در آسیاهای گلوله‌ای پیوسته کمتر است.

۲- آسیای غلتکی فشار بالا (HPGR)

۱-۲- معرفی آسیای غلتکی فشار بالا

به دنبال افزایش هزینه‌های گزاف مصرف انرژی انرژی،

1- High pressure grinding rolls





شکل ۷. آسیای غلتکی فشار بالا (High Pressure Grinding Rolls) یا به اختصار HPGR.

۲-۲- تاریخچه

تحقیقات نشان می‌دهد که کارآمدترین روش خردایش برای ذرات این است که ذرات به صورت یک لایه (بستر) بین دو صفحه فشرده شوند. بر این اساس آسیای غلتکی فشار بالا اختراع شد که در این دستگاه، ذرات به صورت بستری از مواد بین دو استوانه که در خلاف جهت هم می‌چرخند فشرده می‌شوند. اولین کاربرد تجاری HPGR به سال ۱۹۸۵ بر می‌گردد و نتایج موفقیت آمیز آن منجر به افزایش کاربردهای آن در صنایع مختلفی از جمله صنعت سیمان و الماس شد.

آسیای غلتکی فشار بالا در صنعت سیمان و الماس به طور کامل جایگزین سیستم‌های خردایش مرسوم شده‌اند و در خردایش کان سنگ‌های آهن، مس و طلا مطالعات و آزمایش‌هایی صورت پذیرفته است. اما

مراحل خردایش نقش حیاتی را در کانه آرایی کانه‌های کم عیار دارد. تحقیقات برای صرفه جویی در هزینه‌های مربوط به انرژی از طریق استفاده از تجهیزات جدید، یکی از چالش‌های اصلی صنعت معدن کاری است. آسیای غلتکی فشار بالا (High Pressure Grinding Rolls) یا به اختصار HPGR یکی از تجهیزات نسبتاً جدید و مؤثر برای کاهش مصرف انرژی است. شکل ۷ یک نمونه از این دستگاه را نشان می‌دهد.

ساخت HPGR نتیجه تحقیقات بنیادی روی فیزیک شکست تک ذره‌ها و نیز لایه‌های چندگانه در بستر فشرده شده‌ای از مواد است که توسط پروفیسور کلاوس شونرت^۱ در سال ۱۹۸۰ به انجام رسیده است. این

1- Klaus Schonert

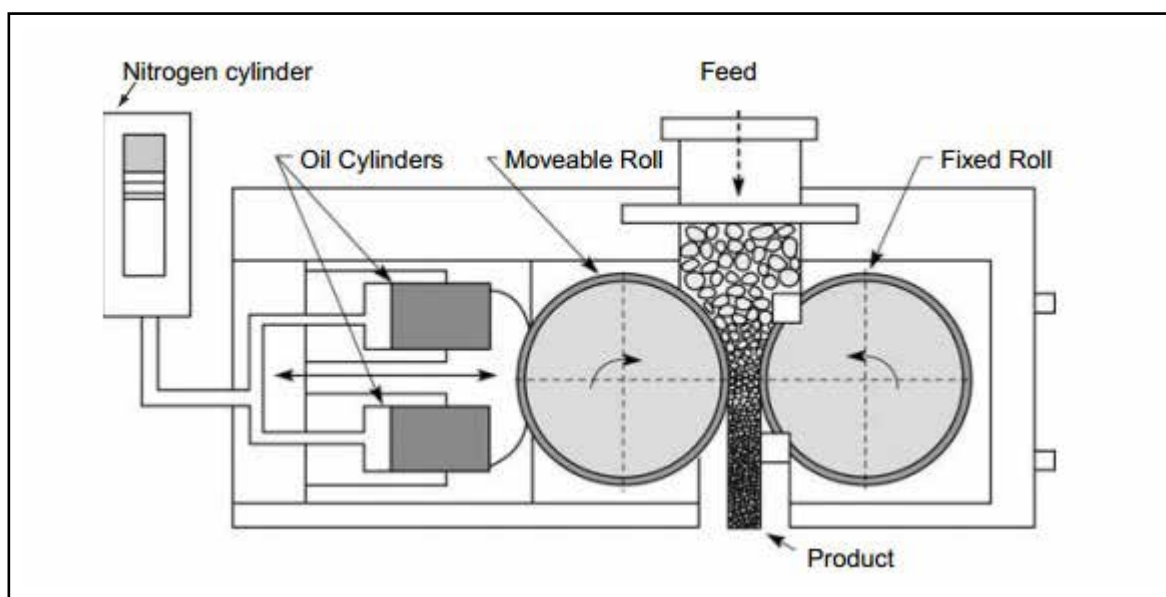


سنگ‌ها است و منجر به خردایش می‌شود. خردایش در ناحیه بین غلتک‌ها به دو صورت خردایش تک ذره‌ای و خردایش بین ذره‌ای (در ناحیه فشار) انجام می‌پذیرد. در طراحی و انتخاب آسیای غلتکی فشار بالا اولین گام بررسی قابلیت خردایش کان سنگ با استفاده از HPGR است، که این امر با انجام تست‌های آزمایشگاهی و پالیوت و اندازه میزان سایش غلتک‌ها مقدور است. شکل ۸ به صورت شماتیک نحوه کار این تکنولوژی را نشان می‌دهد.

در چند سال اخیر استفاده از این تکنولوژی در صنعت فولاد نیز گسترش قابل توجهی داشته است و از این تکنولوژی برای خردایش سنگ آهن به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود.

۳-۲- مکانیزم‌ها

HPGR، از دو غلتک تشکیل شده است که با اعمال فشار به یکی از غلتک‌ها، فشاری معادل ۴۰ تا ۶۰ برابر فشار اعمالی در ناحیه بین غلتک‌ها ایجاد می‌شود. این فشار ایجاد شده معمولاً بیشتر از مقاومت فشاری



شکل ۸. طرح شماتیک از تکنولوژی HPGR.

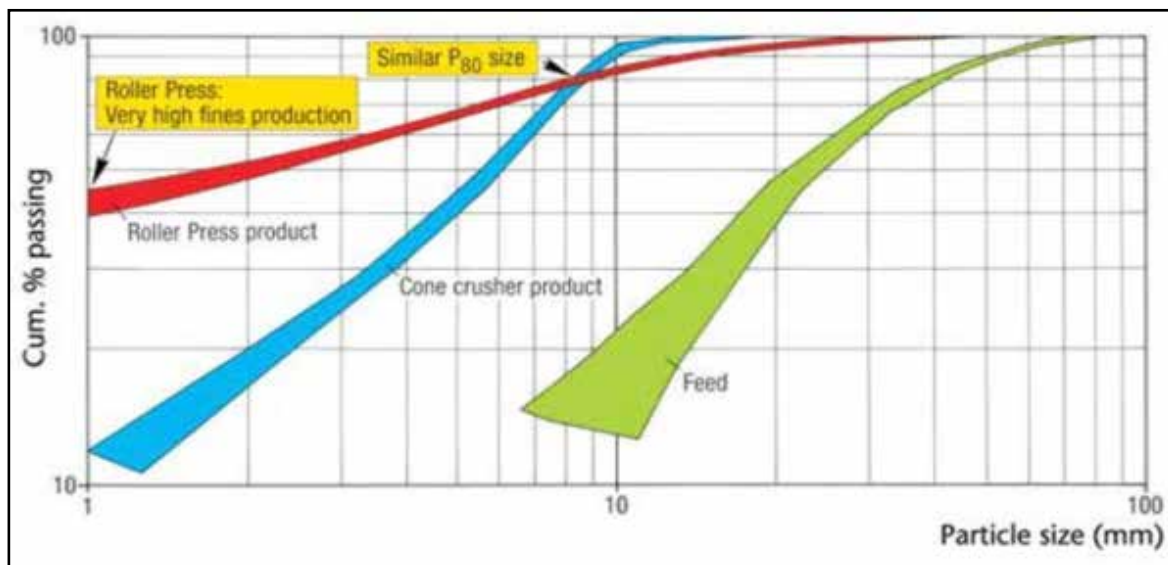


ذرات، مهم‌ترین دلایل برتری و فراگیر شدن سریع این ماشین خردایش کارآمد است.

آسیای غلتکی فشار بالا جایگزین مناسبی برای سنگ شکن‌های مخروطی جهت خردایش ابعاد بحرانی معرفی شده است. با توجه به شکل ۹ آسیای غلتکی فشار بالا و سنگ شکن مخروطی دارای P₈₀ مشابهی هستند و همین امر موجب جایگزین شدن HPGR به جای سنگ شکن مخروطی شده است. در ابعاد ریزتر از P₈₀، محصول HPGR ریزتر از سنگ شکن مخروطی است که موجب کاهش مصرف انرژی در تجهیزات پایین دست مدار می‌شود. در ابعاد بزرگ‌تر از P₈₀ ابعاد ذرات نزدیک‌تر به ابعاد خوراک است که به خود تشابهی مواد معروف است و برای حذف آن به بار در گردش ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ درصد نیاز است. دلیل خود تشابهی مواد در HPGR خردایش در لبه غلتک‌ها است.

در ادامه با توجه به ظرفیت عملیاتی مورد نیاز، ابعاد مناسب انتخاب می‌شود. ظرفیت عملیاتی یک واحد آسیای غلتکی فشار بالا عبارت است از جریان جرمی موادی که از فاصله بین غلتک‌ها خارج می‌شوند. نیروی اعمالی ویژه مهم‌ترین عامل در کنترل کیفیت و ریزی محصول و توزیع دانه بندی بوده و اندازه بزرگ‌ترین سایز محصول عمدتاً وابسته به فاصله بین غلتک‌ها است.

توسعه فناوری آسیاهای غلتکی فشار بالا در چند دهه اخیر مزایای بسیاری را برای صنایع فرآوری مواد معدنی به همراه داشته است. کاهش چشمگیر مصرف انرژی (۲۰ تا ۳۰ درصد)، افزایش قابل توجه ظرفیت واحد فرآوری، بهبود کارایی فرایندهای پایین دستی، هزینه‌های نگهداری اندک، لرزش و صدای بسیار کمتر، میزان عملیاتی بودن بالا و بهبود درجه آزادی انتخابی

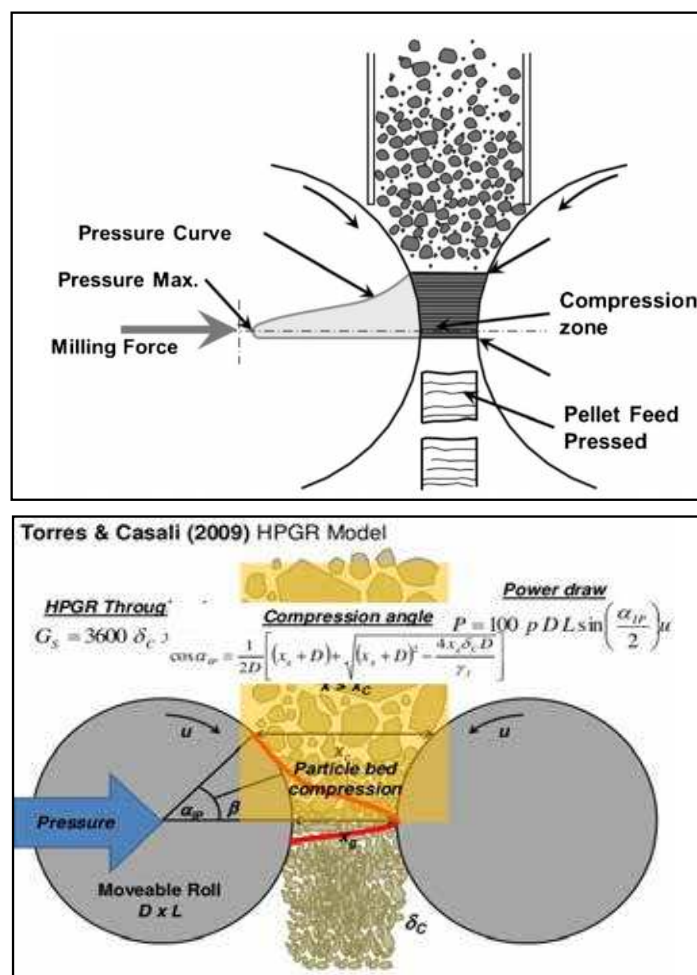


شکل ۹. مقایسه محصول HPGR و سنگ شکن مخروطی.



متفاوت است. در HPGR برخلاف سنگ شکن های غلتکی معمولی ذرات به وسیله فشرده شدن در بستری از ذرات خرد می شوند نه با تماس مستقیم با بدنه غلتک ها. با فشرده شدن لایه ذرات بین استوانه ها دانسیته بستر تقریباً به ۸۵ درصد دانسیته واقعی ذرات افزایش می یابد. این مکانیزم شکست باعث ایجاد ریز ترک هایی در امتداد مرز دانه ها شده و همین امر باعث افزایش درجه آزادی کانی های با ارزش می شود. در نتیجه محصول آسیای HPGR با محصول سنگ شکن های معمولی متفاوت است بنابراین در فرایندهای پایین دست آسیا کنی رفتار خردایش متفاوتی از خود نشان می دهد. شکل ۱۰ مکانیزم شکست در این فرایند و نمودار توزیع فشار را نشان می دهد. همان طور که انتظار می رود فشار با نزدیک شدن به ناحیه میانی دو غلتک افزایش پیدا می کند و در در ناحیه وسط به حداکثر مقدار خود می رسد و بیشترین مقدار نیرو در این ناحیه به ذرات اعمال می شود.

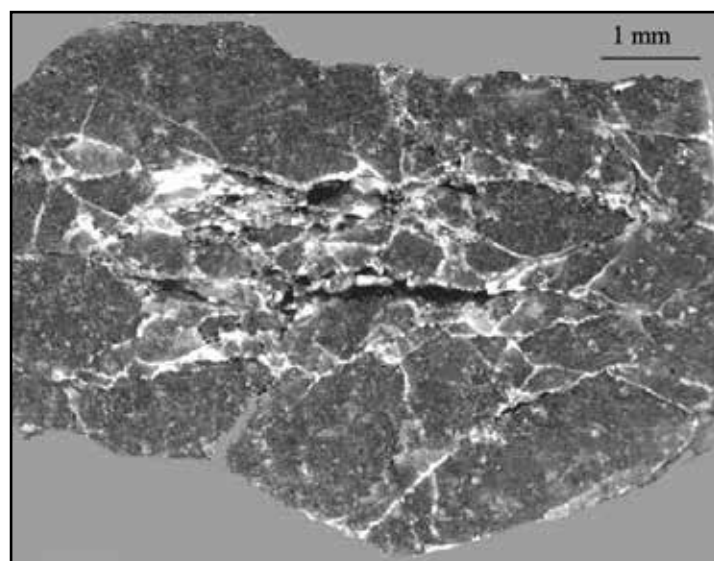
امروزه در کارخانه های مختلف، متناسب با اهداف و کارایی مورد نظر، چیدمان های مختلفی برای HPGR طراحی و اجرا می شود. علیرغم تفاوت های چیدمانی، مهم ترین هدف از کلیه طراحی ها کاهش مصرف انرژی به همراه حداکثر نمودن ظرفیت مدار است. یکی از متداول ترین مدارهایی که در بسیاری از صنایع فرآوری به ویژه صنایع فرآوری سنگ آهن مورد استفاده قرار می گیرد، استفاده از HPGR به عنوان سنگ شکن ثانویه در مدار بسته با یک سرند ارتعاشی برای تهیه خوراک آسیای گلوله ای است. مهم ترین نقش HPGR در این نوع چیدمان، تولید ذرات با ابعاد مناسب و بهبود خواص خرد شوندگی آن ها برای افزایش ظرفیت آسیا است. افزایش بهره وری آسیای گلوله ای در چنین مدارهایی متأثر از مکانیزم شکست بین دانه های انحصاری آسیاهای غلتکی فشار بالا است. فشرده شدن مکانیزم اصلی شکست در HPGR است. مکانیزم شکست در HPGR با مکانیزم شکست در سنگ شکن های معمولی و یا آسیاهای چرخان که ضربه و سایش مکانیزم اصلی هستند



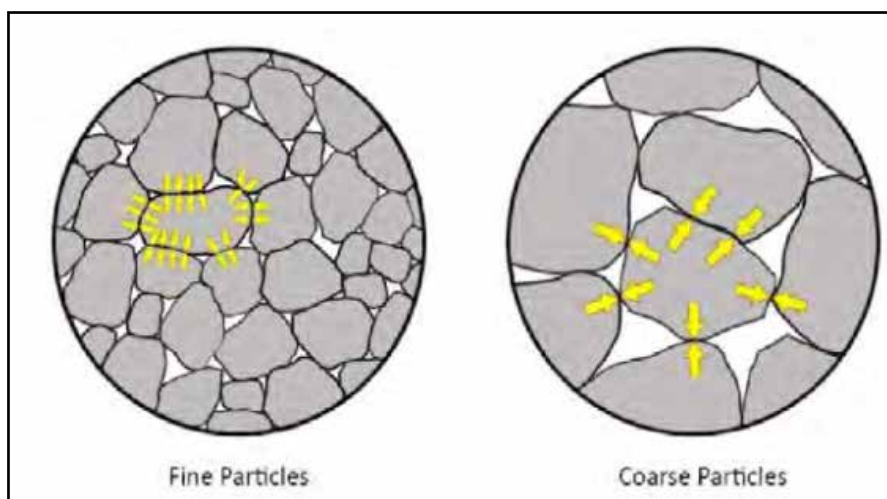
شکل ۱۰. نحوه توزیع نیرو در سیستم HPGR.

که ذرات بر یکدیگر فشار وارد کنند و همچنین، نیروی وارد شده از سوی غلتک‌ها را در سطوح تماس باهم به یکدیگر منتقل کنند؛ همین عامل باعث تشکیل ریز شکستگی‌ها در ذرات می‌شود. شکل ۱۱ تشکیل این ریز ترک‌ها را در سنگ معدن نشان می‌دهد. با کوچک‌تر شدن ابعاد ذرات، فضای خالی بین آن‌ها کاهش و در نتیجه، سطح تماس آن‌ها با یکدیگر افزایش می‌یابد. افزایش سطح تماس به معنای افزایش محل‌های انتقال نیرو بین ذرات است و همین عامل باعث توسعه بهتر ریز شکستگی‌ها در ذرات ریزتر و در نتیجه بهبود قابلیت نرم شوندگی آن‌ها شود. در شکل ۱۲ مقایسه مکانیزم خردایش ذرات درشت و ریز به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

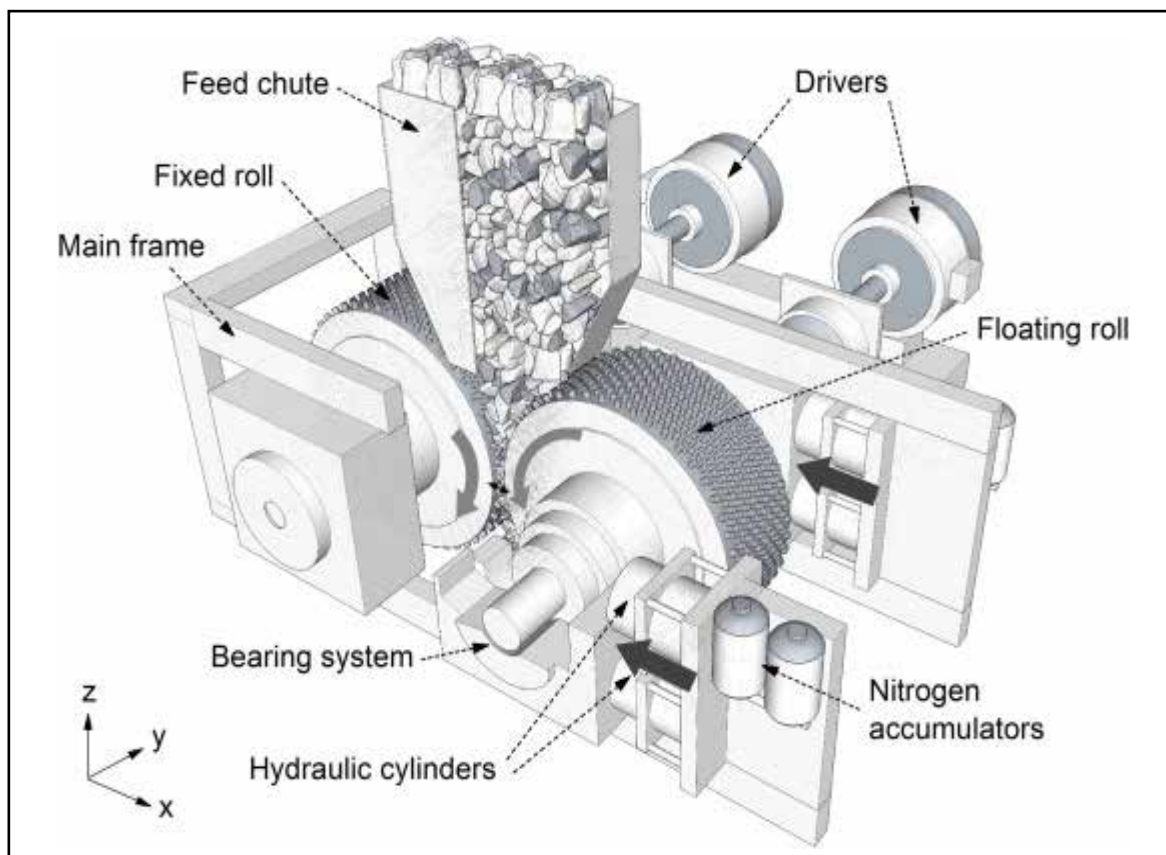
تحقیقات نشان داده است که وجود ریز ترک‌ها در محصول HPGR باعث بهبود فرایندهای جدایش مانند فلوئاسیون و یا جدایش ثقلی می‌شود. همچنین مشخص شده است خردایش توسط HPGR باعث بهبود فرایند و افزایش بازدهی آسیای گلوله‌ای می‌شود و ظرفیت مدار خردایش را تا ۱۰ درصد افزایش داده و انرژی ویژه خردایش را تا ۹ درصد کاهش می‌دهد. در فرایند خردایش با HPGR با کاهش اندازه ذرات بازدهی فرایند افزایش پیدا می‌کند. با فرض همگن بودن ترکیب کانی شناسی نمونه، بهبود نرخ شکست محصول به‌ویژه در ابعاد کوچک را می‌توان مستقیماً به تشکیل ریزشکستگی‌ها در ذرات ارتباط داد. شکست بین ذره‌ای در HPGR در فضای بین غلتک‌ها، جایی که فشار حداکثر است رخ می‌دهد. در این فضا، تراکم ذرات سبب می‌شود



شکل ۱۱. تشکیل ریز ترک‌ها در سنگ معدن پس از خردایش در HPGR.



شکل ۱۲. مقایسه مکانیزم خردایش ذرات درشت و ریز.



شکل ۱۳. نمونه ای آسیای غلتکی فشار بالا با معرفی تجهیزات مختلف فرایند خردایش به وسیله آسیای مذکور.

۳- آسیای برجی

۱-۳ معرفی آسیای برجی

یکی از تکنولوژی‌های مدرن به‌منظور آسیا نمودن و تولید ذرات ریز و فوق‌ریز، استفاده از آسیاهایی با مکانیزم بهم‌زنی (هم‌زده)^۱ می‌باشد. امروزه به‌طور معمول از سه نوع آسیای برجی^۲، IsaMill و Detritor mill که بر اساس مکانیزم بهم‌زنی کار می‌کنند، در صنایع معدنی برای خردایش استفاده می‌شود. آسیاهای برجی و Detritor آسیاهای هم‌زده عمودی بوده که به ترتیب از مارپیچ‌های فولادی^۳ و پین‌های طویل برای ایجاد اغتشاش در محیط خردایش استفاده می‌کنند. IsaMill آسیا هم‌زده افقی بزرگی بوده که از دیسک‌هایی برای پدیده هم‌زنی استفاده می‌کند. به دلیل کاربرد زیاد آسیای برجی در واحدهای گندله‌سازی، در این قسمت از مقاله به‌طور مختصر آسیای برجی معرفی می‌شود.

۲-۳ تاریخچه

رشد بالای بازارهای مربوط به مس، کانی آهن، طلا، کانی‌های روی-سرب، ماسه‌های معدنی و فلزات نادرخاکی، تقاضا برای خردایش ریز به‌منظور افزایش حداکثر بازیابی را روز به روز بیشتر کرده است. با

۴-۲ مزایای آسیای غلتکی فشار بالا

از جمله مهم‌ترین مزایای استفاده از آسیای غلتکی فشار بالا موارد زیر است:

۱- قابلیت استفاده و کاربرد آسان روش HPGR حتی برای سخت‌ترین کانی‌های موجود.

۲- انتظار می‌رود که ریز ترک‌های ایجاد شده در محصول HPGR باعث کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش زمان حضور فولاد در محفظه آسیای گلوله‌ای در مقایسه با روش‌های معمولی شود.

۳- در فرایند آسیای غلتکی فشار بالا تشکیل ریز ترک‌ها باعث ریزتر شدن ابعاد ذرات می‌شود. با کوچک‌تر شدن ابعاد ذرات، فضای خالی بین آن‌ها کاهش و در نتیجه، سطح تماس آن‌ها با یکدیگر افزایش می‌یابد. افزایش سطح تماس به معنای افزایش محل‌های انتقال نیرو بین ذرات است و همین عامل باعث توسعه بهتر ریز شکستگی‌ها در ذرات ریزتر و در نتیجه بهبود قابلیت نرم شوندگی آن‌ها شود.

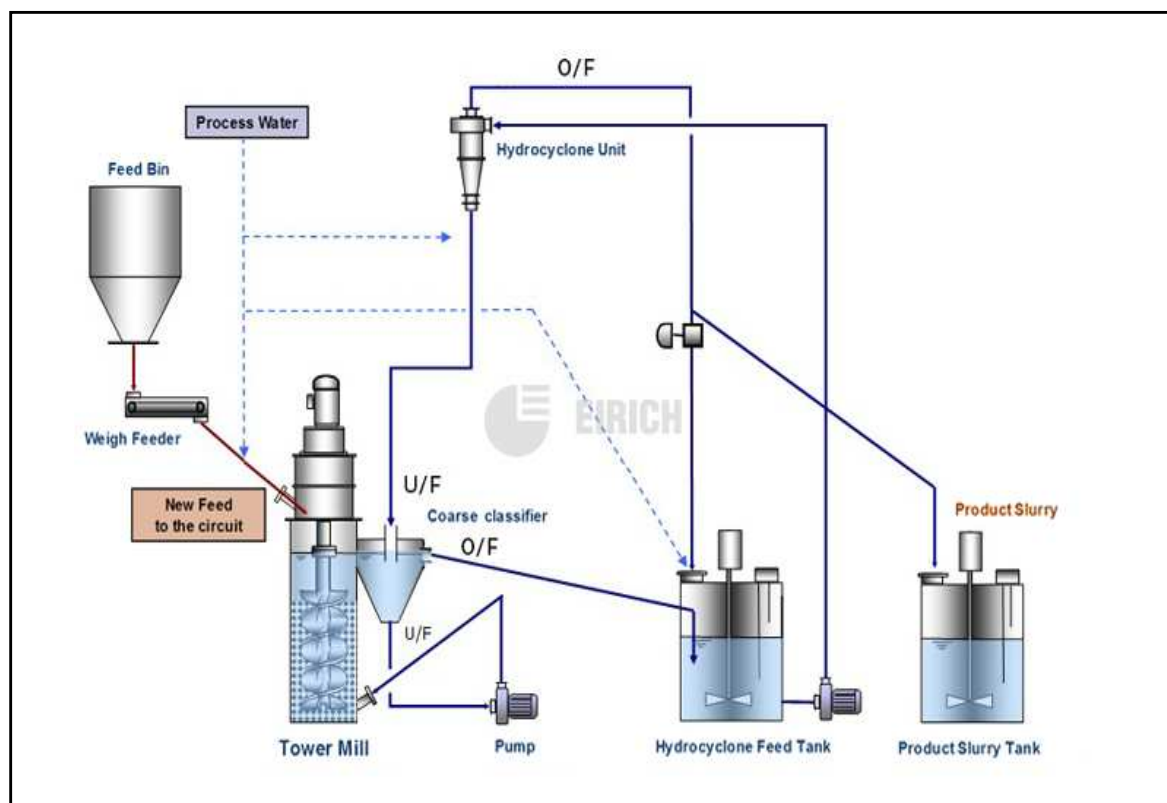
۴- نشان داده شده است که خردایش مواد معدنی توسط فرایند HPGR باعث بهبود ۲/۵ تا ۱۵ درصدی در فلوتاسیون و بهبود ۲/۵ تا ۹ درصدی در بازیابی گرانش می‌شود.

1 . stirred milling
2 . Tower mill
3 . steel spiral

Minerals و تحت نام تجاری VertiMill عرضه می‌شود. امروزه از این آسیا در معادن آهنی و غیر آهنی به‌منظور خردایش کانی، گوگردزایی از جریان گازهای دودکش^۵ (FGD)، خردایش سنگ آهک به‌منظور خنثی‌سازی و در بسیاری از صنایع مرتبط با زمینه‌های زیست محیطی به دلیل مزایای آن از جمله ظرفیت بالا و قابلیت خردایش ریز در سرتاسر جهان استفاده شده و جایگزین آسیاهای گلوله‌های افقی معمولی گشته است. همچنین در برخی کاربردها از این آسیا برای خردایش ریز بعد از خردایش درشت آسیاهای گلوله‌ای نیز استفاده شده است. آسیاهای برجی می‌توانند برای کاربردهای خردایش تر و خشک مورد استفاده قرار گیرند. به‌طور کلی می‌توان مواردی نظیر بازدهی انرژی مطلوب، توان عملیاتی بالا، قابلیت استفاده حتی برای کاربردهای ساییده و کاهش هزینه‌های عملیاتی را به عنوان مهم‌ترین مزایای آسیاهای برجی جدید نظیر آسیا EIRICH TowerMill دانست. ادعا شده است که استفاده از این نوع آسیای برجی منجر به کاهش قابل توجه مصرف انرژی و استهلاک محیط در فرایند تهیه کنسانتره کانی می‌شود. خلاصه‌ای از سیکل خردایش توسط آسیای برجی از ابتدا تا انتها در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

خارج شدن معادن با ذخایر ناب و غنی، معادن با ذخایر ناخالص‌تر نیاز به پردازش اقتصادی به‌منظور پاسخگویی به نیازهای بازار جهانی دارند. به‌منظور پاسخگویی مطلوب و فراهم آوردن یک راهکار اقتصادی، آسیای برجی پیشنهاد می‌شود. آسیای برجی یک محیط آسیایی متلاطم و پر تنش عمودی^۱ بوده که در دهه ۱۹۵۰ در ژاپن توسعه یافته است. در آن زمان آسیاهای گلوله‌ای افقی در صنایع معدنی و سرامیکی استفاده می‌شد که قابلیت تولید محصولات با سایز فوق‌العاده ریز را نداشت. ایده چرخش محفظه افقی خردایش آسیای گلوله‌ای به صورت عمودی و اضافه نمودن یک همزن اغتشاشگر برای بهبود انتقال انرژی به محیط خردایش و همچنین نگهداری محفظه خردایش به صورت ثابت منجر به تولید آسیای برجی شد. طراحی مورد نظر برای رسیدن به سایز بسیار ریز محصولات و کاهش مصرف انرژی، موفقیت‌آمیز بود و آسیای برجی به سرعت در واحدهای خردایش خشک و تر مورد استفاده قرار گرفت.

پس از آن این نوع آسیا توسط شرکت Kubota ژاپن تولید و به بازار عرضه و از سال ۱۹۹۹ به شرکت Nippon Eirich ژاپن منتقل شد. آسیای برجی به نام‌های آسیای عمودی^۲، آسیای هم‌زده^۳ و آسیای سنگ‌زنی مجدد^۴ نیز شناخته می‌شود. این تکنولوژی امروزه توسط Metso



شکل ۱۴. خلاصه‌ای از سیکل خردایش توسط آسیای برجی.

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. vertical agitated media mill | 4. regrind mill |
| 2. vertical mill | 5. Flue gas desulfurization |
| 3. stirred mill | |

جدول ۱. مواد خردایش یافته توسط آسیای برجی.

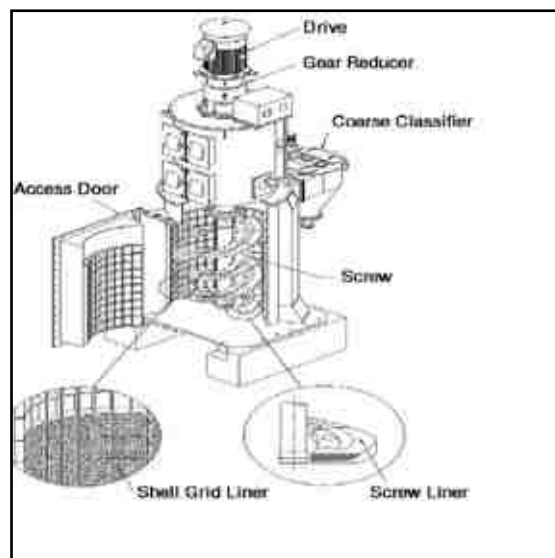
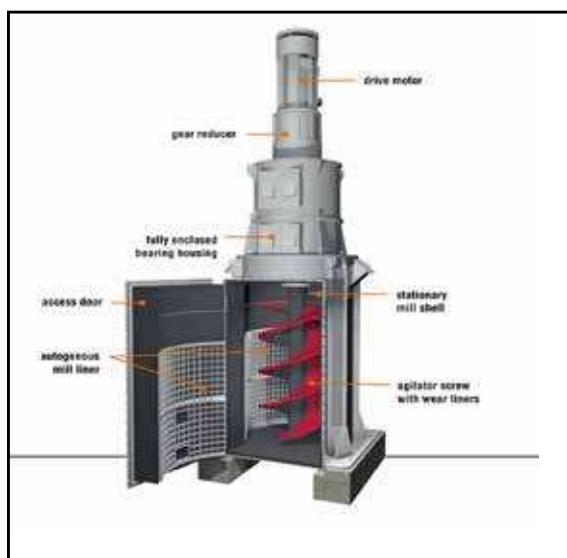
Aluminum Oxide	Ferro Manganese	Petroleum Coke
Aragonite	Gold Ore	Phosphate Rock
Barite	Gold Tailings	Pottery Stone
Blast Furnace Slag	Graphite	Pyrite
Calcined Bauxite	Hydrated Alumina	Red Phosphorous
Calcite	Iron Oxide	Rock Salt
Calcium Carbonate	Iron Sand	Salt
Clay	Kaoline	Sand Iron
Coal - oil	Lead Concentrate	Sericite
Coal - water	Lead Zinc Ore Lime (slaking)	Silica
Coal Tar Sludge	Lime Powder	Silica Sand
Coke - oil	Limestone	Slag
Copper Molybdenum	Magnesium Oxide	Strontium Ferrite
Copper Concentrate	Magnetite Concentrate	Sulphur
Copper Ore	Manganese Dioxide	Talc
Copper Slag	Manganese Ore	Uranium
Copper-Lead-Zinc Ore	Marble	Zinc Concentrate
Decanter Tar Sludge	Molybdenite	Zinc Lead Ore
Ferrite	Molybdenum Conc.	
Ferro Alloy	Oil Sludge	

۳-۴- عناصر اصلی در یک نگاه

همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، آسیای برجی یک دستگاه با محیط آسیا عمودی متلاطم بوده که متشکل از یک موتور متحرک است که در قسمت بالایی گیربکس کاهنده تعبیه شده و این مجموعه، بالای محفظه مربوط به یاتاقان محوری قرار گرفته‌اند؛ که در انتها به محفظه خردایش منتهی می‌شوند. داخل محفظه خردایش همزن‌های مارپیچی

۳-۳- کاربرد آسیای برجی

از این آسیا جهت خردایش سنگ آهک، آهک زنده، کانی آهن، کانی مس، کانی طلا، کانی روی/سرب، کانی نیکل، دوغاب FGD، کک نفتی، هیدروکسید منیزیم، خاکستر بادی و خاکستر رسوبی استفاده می‌شود. موادی که به صورت موافقی توسط آسیای برجی خردایش یافته‌اند در جدول ۱ ارائه شده‌اند.



شکل ۱۵. عناصر اصلی آسیای برجی در یک نگاه شامل موتور محرک، گیربکس، محفظه خردایش و همزن‌های اغتشاشگر

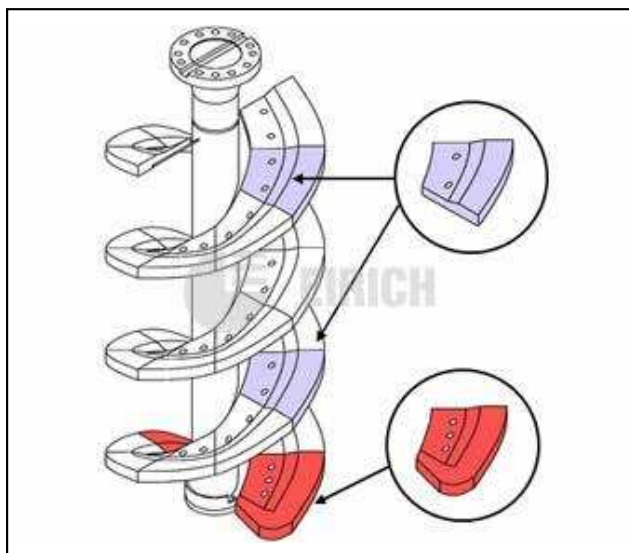
اغتشاشگر قرار گرفته است. در داخل محفظه، محیط خردایش و مواد خردایش به صورت دوغاب حضور دارند.

۳-۵- اصول و ساختار آسیای برجی

۳-۵-۱- محفظه خردایش

تمام اجزای اصلی یک آسیای برجی در بالا و خارج از محفظه خردایش و همزن‌های ماریپیچی قرار گرفته‌اند. در آسیای برجی محیط خردایش شامل یک پوسته^۱ بوده که داخل این پوسته سیلندری، همزن ماریپیچی دو پره‌ای مجهز به لاینرهای قابل تعویض آویخته می‌باشد. شماتیک همزن‌های ماریپیچی همراه با لاینرها در شکل ۱۶ نشان داده شده است. بدنه آسیا از فولاد معمولی است. محفظه خردایش

سیلندری عمودی، قلب آسیای برجی بوده که خردایش کانی‌های معدنی در آن رخ می‌دهد. مشابه تمام محیط‌های اغتشاشی مربوط به آسیاها، محفظه خردایش توسط گلوله‌های کروی خرد کننده، شارژ می‌شود. گلوله‌ها بسته به فرایند مطلوب و سایز دلخواه محصولات، می‌توانند از جنس فولاد و یا سرامیک باشند. همچنین از سیستم لاینر توری شکل اتوژنیک^۲ برای جلوگیری از سایش سطح داخلی محفظه خردایش استفاده می‌شود. لاینرهای توری شکل از جنس فولاد کربنی، آلیاژهای فولادی مقاوم در برابر اسید و یا پلی یورتانهای مقاوم در برابر سایش بوده که باعث تمرکز نیروهای گریز از مرکز و فشارهای هیدرواستاتیک در داخل محفظه خردایش می‌شود.



شکل ۱۶. شماتیک همزن ماریپیچی مورد استفاده در محفظه خردایش آسیای برجی همراه با لاینرهای قابل تعویض.

۱ . Shell

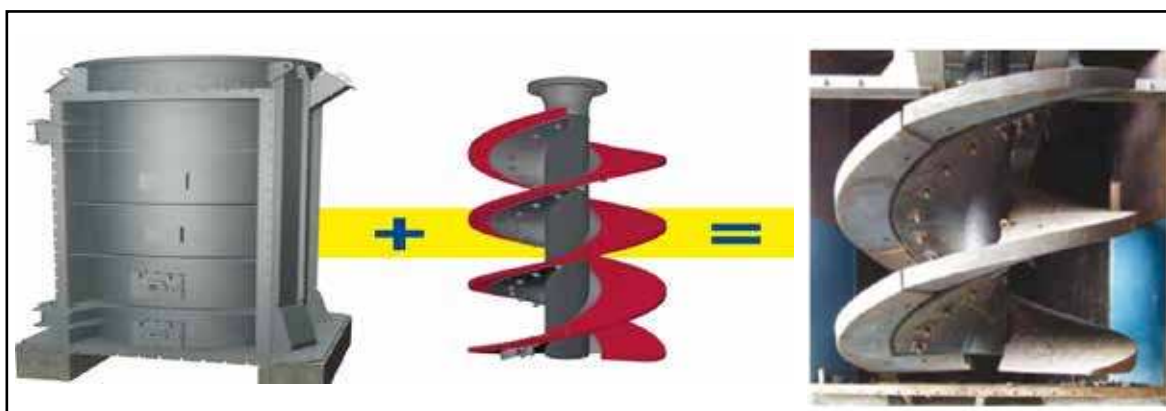
۲ . autogenous



۳-۵-۲- همزن اغتشاشگر^۱

همزن مارپیچی اغتشاشگر منجر به حرکت و جنبوجوش محیط خردایش در داخل محفظه خردایش می‌شود. همان‌طور که بیان شد، نیروی چرخش همزن مارپیچی توسط موتور محرک تعبیه شده در بالای آسیای برجی و توسط چرخ‌دنده کاهنده و از طریق یک شافت محرک عمودی به همزن اعمال می‌شود. تمام مجموعه مذکور در بیرون محیط خردایش و بالای محفظه قرار دارند. این بدان معنی است که همزن مارپیچی تنها جز محرک ماشین در داخل محفظه خردایش می‌باشد. سرعت چرخش همزن‌ها در نوک مارپیچ حدود ۳ متر بر ثانیه می‌باشد. فولاد ریختگی مقاوم (نشان داده شده با رنگ قرمز در شکل ۱۷) از سایش همزن مارپیچی جلوگیری می‌کند. این لاینرهای ریختگی با کروم بالا، سختی بسیار بالا و دوام بسیار زیادی از خود نشان داده و میزان خرابی همزن را به حداقل ممکن می‌رسانند. طول عمر

لاینرهای ریخته‌گری شده وابسته به مواد پردازش شده و ترکیب شیمیایی آن‌ها داشته ولیکن در برخی از کاربردها به بیشتر از دو سال نیز می‌رسد. همان‌طور که بیان شد، لاینرهای ریخته‌گری شده با کروم بالا به‌منظور حفاظت همزن‌های مارپیچی در مقابل سایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. طراحی یکسان و مشابه لاینر پره‌ها اجازه تعویض داخلی لاینرهای فرسوده را فراهم آورده که منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. لاینرهای توری شکل اتوژنیوس از نیروهای فیزیکی داخل آسیا برای به دام انداختن چندین لایه از گلوله‌های خردایش و مواد در داخل ردیف‌ها و شبکه‌ها استفاده می‌کند. این کار موجب کاهش شدید سایش سطح داخلی محفظه آسیا به صورت بسیار مؤثر و با هزینه بسیار اندک می‌شود. همچنین سطح داخلی به‌منظور جلوگیری از خوردگی توسط لاستیک پوشانده شده است.



شکل ۱۷. محفظه خردایش به همراه همزن مارپیچی و لاینرهای مقاوم به سایش بر روی پره‌ها به رنگ قرمز.

1 . agitator screw



۳-۵-۳- محیط خردایش:

در بیشتر برنامه‌های کاربردی خردایش از گلوله‌های فولادی کروم بالا برای پردازش مواد معدنی استفاده می‌شود. جهت خردایش مواد عاری از آهن امکان استفاده از محیط سرامیکی بر پایه ترکیبات اکسید-آلومینا نیز وجود دارد. این ترکیبات به راحتی در سرتاسر جهان در دسترس بوده و اجازه پردازش دوغاب‌های سرامیکی و مواد فلزی گران‌بها را فراهم می‌آورد.

۳-۶- مزایای طراحی عمودی

به تمام رولبرینگها در طول کارکرد و همچنین عدم کارکرد، بار به صورت متقارن اعمال شده و در نتیجه میزان تعمیرات کاهش و طول عمر یاتاقان‌ها افزایش می‌یابد. همچنین سایش محیط خردایش به کمترین میزان می‌رسد؛ زیرا تنها به صورت عمودی چرخیده و نیروهای ضربه‌ای به محیط به حداقل میزان می‌رسد. به علت کاهش بارهای دینامیکی، هزینه‌های پایه‌ای^۱ کاهش می‌یابد. همچنین زمان مورد نیاز برای نصب و اسمبل کردن به علت طراحی بلوکه‌ای^۲ آن کاهش یافته و به صورت مکانیکی می‌تواند در طول ۵ روز نصب شود.

۳-۷- اصول عملکرد آسیای برجی

خرد کردن و یا فرایند کاهش سایز ذرات در محیط پر اغتشاش آسیا رخ می‌دهد. در این حالت مواد در حین فرایند مذکور تحت تماس‌های دینامیکی با محیط خردایش قرار می‌گیرند. هزاران نقطه تماس بین محیط به عنوان خردکننده‌های فردی عمل کرده که هر

کدام منجر به کاهش بیشتر سایز مواد تحت خردایش می‌شوند. حرکت و چرخش مارپیچی همزن اغتشاش‌گر منجر به حرکت و چرخش نسبی محیط کروی خردایش شده که همراه با نیروهای فشاری که در سرتاسر محیط توزیع شده‌اند؛ منجر به خردایش و ریز شدن ذرات در محیط کروی از طریق سایش و اصطکاک^۳ می‌شود. قابل ذکر است که نیروی فشاری تنها در ترکیب‌بندی عمودی یافت می‌شود.

۳-۷-۱- فرایند خردایش

در خردایش تر، مواد با آب مخلوط شده و قبل از ورود به آسیای برجی به صورت دوغاب در می‌آیند. تقریباً همیشه از آب به عنوان محیط نقل و انتقال^۴ برای رسیدن به محصول مطلوب استفاده می‌شود. شکل مارپیچی و چرخش همزن‌های مارپیچی منجر به حرکت رو به بالا و عمودی مواد و گلوله‌ها می‌شود. به علت جریان رو به بالای دوغاب، ذرات ریزتر تمایل به صعود و انتقال به بخش‌های بالایی محفظه خردایش دارند.

در این حالت نیروهای فشاری بیشتری به علت محدود شدن گلوله‌ها در فرم فشرده سیلندری به ذرات اعمال شده که منجر به افزایش راه‌های تماس بهینه محیط خردایش می‌شود. توزیع انرژی در طول آسیای عمودی برای تمام ارتفاعات و شعاع‌ها ثابت می‌باشد. این مشخصات در ترکیب با این واقعیت که پوسته آسیای برجی نیازی به حرکت نداشته منجر به کاهش قابل توجه مصرف انرژی می‌شود.



1. foundation costs
2. building block assembly
3. attrition
4. transport medium

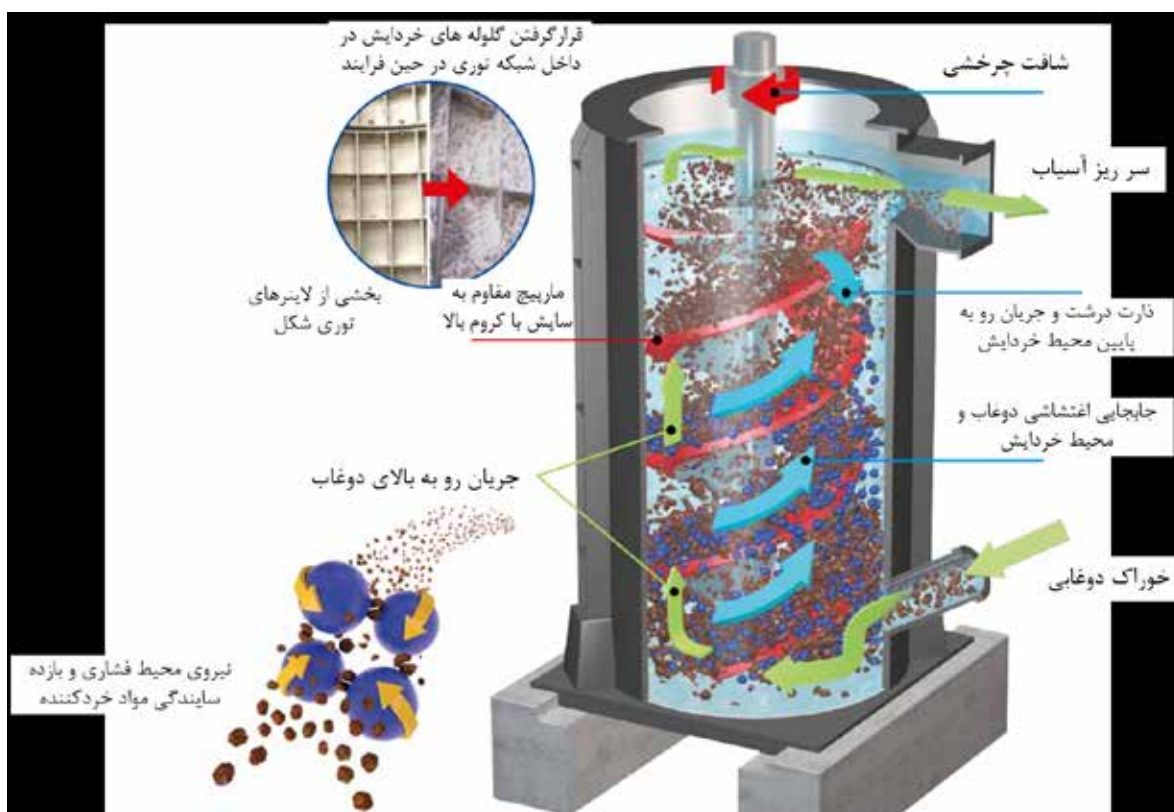
در صنایع معدنی اغلب در یک سیکل بسته و همراه با هیدروسیکلون‌های کوچک بوده و استفاده از آن در این حالت و همراه با گلوله‌های با سایز ۱۲ میلی‌متر بهترین نتایج را به همراه داشته است. شماتیک آسیای برنجی همراه با مکانیزم خردایش آن در شکل ۱۸ به صورت واضح نشان داده شده است.

مراحل خردایش توسط آسیای برنجی به ترتیب شامل موارد زیر می‌باشد:

- ۱- آسیای برنجی معمولاً در قسمت پایین دستی آسیا گلوله‌های افقی معمولی و یا اخیراً قسمت پایین دستی آسیا HPGR قرار گرفته و مواد خروجی از این آسیاها ابتدا به تانک تولید دوغاب فرستاده می‌شوند.
- ۲- همان‌طور که در شکل ۱۹ نشان داده شده است، مواد تازه به یک هیدروسیکلون جهت جداسازی ذرات ریز و درشت از یکدیگر پمپ می‌شوند. ذرات ریز به طور مستقیم به سمت پایین جریان یافته و ذرات درشت‌تر به سمت فلنج ورودی آسیای برنجی فرستاده می‌شوند.
- ۳- ورودی می‌تواند در بالا و یا پایین محفظه خردایش تعبیه شود. برای خوراک‌های درشت، تغذیه از بالا کارایی بهتری داشته و بهتر است با یک دستگاه

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، دوغاب خوراک مواد معدنی توسط یک پمپ به پایین آسیا منتقل شده و محصولات دوغابی پس از خردایش از بالای آسیا سرریز شده و توسط پمپ مکش می‌شوند. خوراک معدنی توسط اثرات مربوط به ضربه و سایش، مواد در داخل پوسته آسیا، خرد می‌شوند. سیکل خردایش به این گونه می‌باشد که محیط خردایش به طرف بالا و به سمت پره‌های مارپیچی حمل شده و به طرف پایین و خارج از مارپیچ‌ها جریان می‌یابد. با توجه به طراحی صورت گرفته، این آسیا مشخصه‌های حمل و نقل مطلوبی داشته و محیط خردایش مشارکت خوبی در کسر بالایی از محفظه خردایش داشته که منجر به افزایش قابل توجهی در عملکرد آن نسبت به آسیاهای دیگر می‌شود. بیشترین میزان خردایش در آسیای برنجی از طریق نیروی برشی و در منطقه حلقوی بین لبه‌های خارجی پره‌های مارپیچ و بدنه ثابت پوسته آسیا رخ می‌دهد.

یکی از مزیت آسیاهای برنجی قابلیت استفاده از گلوله‌های فولادی با سایز ۳۰ میلی‌متر بوده که می‌تواند آسیا را برای عملیات و پردازش خوراک‌های درشت تا سایز ۳ میلی‌متر نیز ترغیب نماید. استفاده از آسیاهای برنجی



شکل ۱۸. شماتیک آسیای برنجی همراه با مکانیزم خردایش آن.

سمت جریان‌های مربوط به مواد ریز و درشت هدایت و سر ریز می‌نمایند. مواد درشت مجدداً به عنوان خوراک جهت خردایش وارد سیستم آسیای برجی شده و ذرات ریز نیز وارد مدارهای جداسازی و خشک کردن می‌شوند. ۷- محیط خردایش در طول عملیات مصرف شده و به‌طور دوره‌ای به‌منظور جبران قسمت‌های از دست رفته، شارژ می‌شود. تجهیزات شارژ محیط دقت بالایی داشته و عملکرد سیستم را در حالت بهینه تنظیم می‌نماید. ۸- محصول نهایی به‌منظور جداسازی، فلوتاسیون و خشک‌کردن مورد عملیات‌های پایین دستی قرار می‌گیرد.

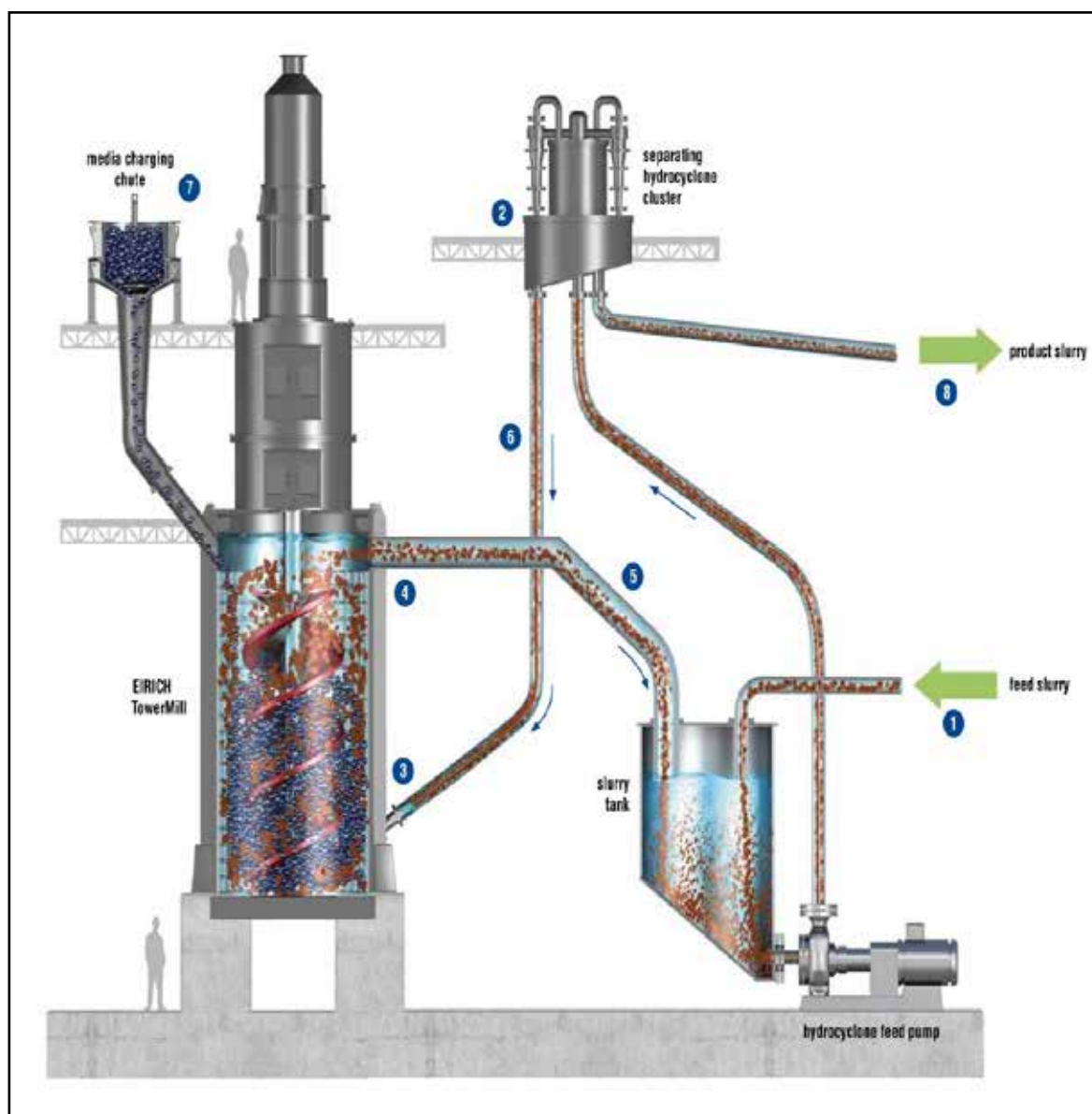
طبقه‌بندی کننده^۱ ترکیب شده تا ذرات خارج از سایز را مستقیماً به محفظه آسیا برگرداند. برای ذرات ریز نیز تغذیه از پایین کارایی بالاتری دارد.

۴- هنگامی که سایز ذرات درشت کاهش یافت، توسط حرکت رو به بالای دوغاب جریان یافته و به سمت فلنج خروجی محفظه خردایش سرازیر می‌شوند.

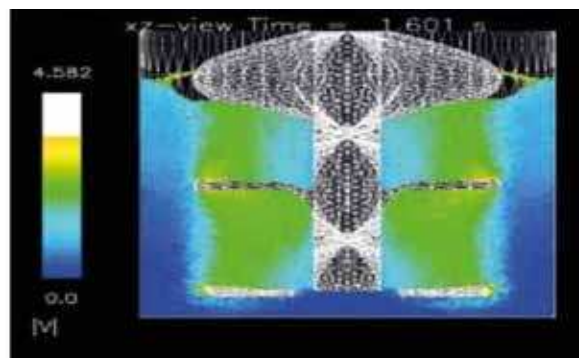
۵- یک لوله اتصال‌دهنده، سرریز مواد را توسط نیروی گرانش به سمت تانک دوغاب هدایت کرده، جایی که محصولات و مواد خوراک به سمت هیدروسیکلون هدایت می‌شوند.

۶- هیدروسیکلون های طبقه‌بندی کننده، مواد را به

1 . classifier



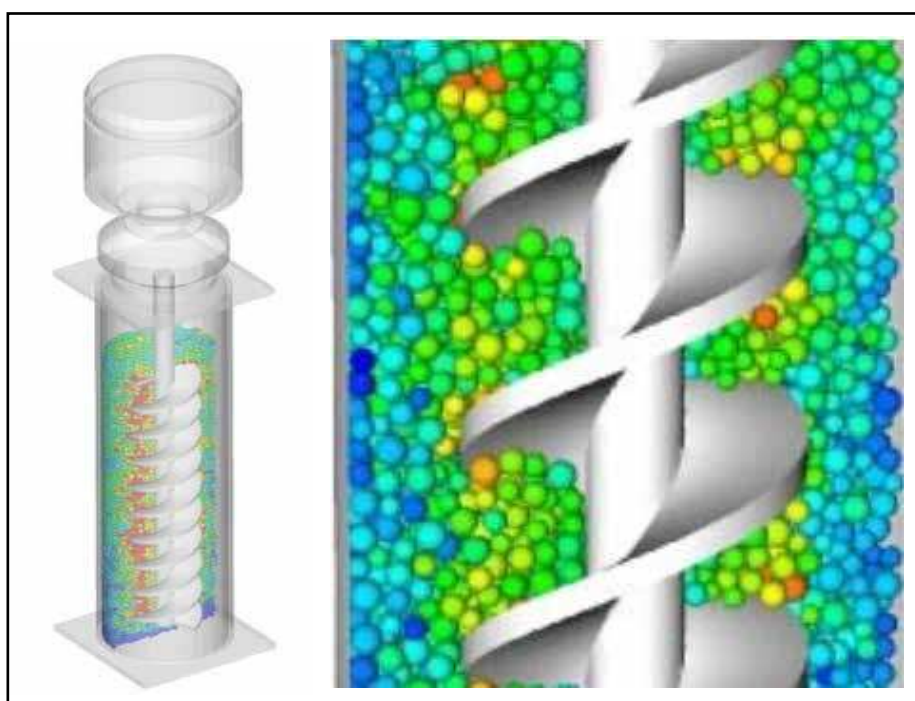
شکل ۱۹. مراحل تغذیه، خردایش و تخلیه در آسیای برجی به صورت شماتیک.



شکل ۲۰. شبیه‌سازی محیط شارژ در آسیای برجی به روش المان گسسته.

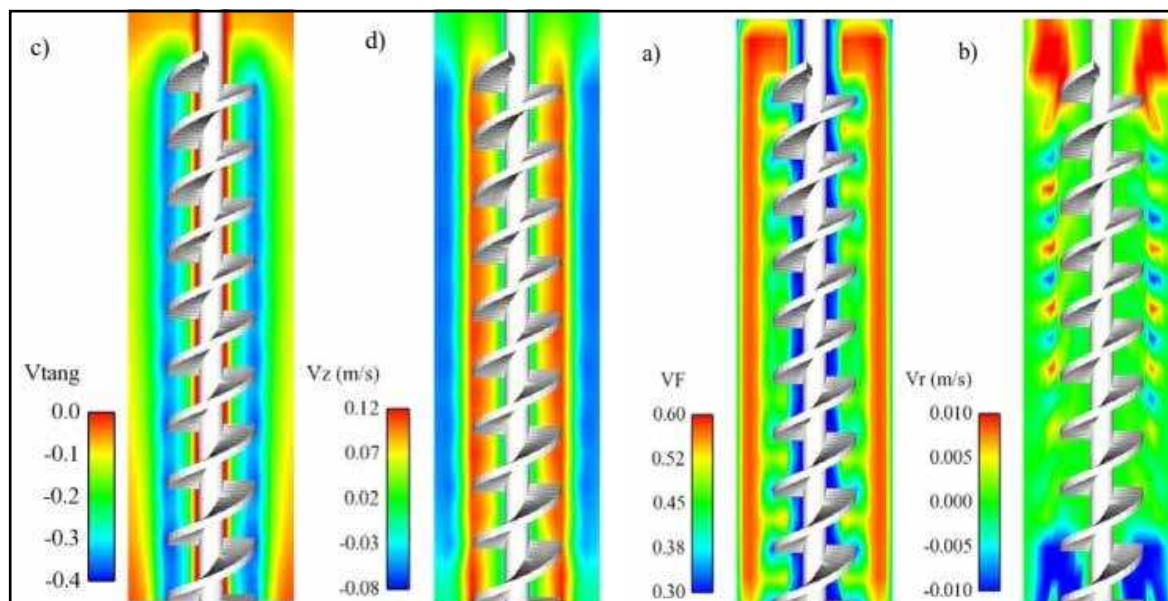
را به بیرون آسیا منتقل نماید. در مورد دانسیته دوغاب نیز تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده رفتار غیر نیوتنی، رفتار پزودوپلاستیک^۱ و رفتار سخت شونده^۲ از انواع رئولوژیهای مربوط به دوغاب بوده که بر روی فرایند خردایش کانی تأثیرگذار می‌باشد. مدل‌سازی فرایند جهت تشریح فازهای جامد و مایع دوغاب و شارژ در تحقیقات مختلف و توسط روش‌های متنوع شبیه‌سازی نظیر روش المان گسسته^۳ (DEM) صورت گرفته است. به‌طور مثال از این ابزار برای تشریح حرکت و توزیع محیط خردایش در آسیا استفاده شده است. نمونه‌ای از تصویر سه‌بعدی محیط خردایش داخل محفظه آسیا توسط روش DEM در شکل ۲۱ نشان داده شده است. رنگ‌ها معرف سرعت می‌باشد.

نمونه‌ای از شبیه‌سازی محیط شارژ در آسیای برجی به روش المان گسسته در شکل ۲۰ نشان داده شده است. مدل‌سازی جریان دوغاب در محیط خردایش تر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. ویسکوزیته دوغاب مهم‌ترین پارامتر کنترل کننده جریان در محیط خردایش می‌باشد. با این وجود، اثر ویسکوزیته بر روی بازدهی فرایند خردایش وابسته به بالا یا پایین بودن میزان تنش تسلیم دوغاب می‌باشد. ویسکوزیته بر روی فرایند انتقال و خردایش آسیا اثرگذار است. ویسکوزیته بالا تمایل به حرکت آرام در محیط داشته ولیکن می‌توانند به زندانی شدن و نگهداری ذرات تغذیه شده بین گلوله‌ها کمک کنند. در ویسکوزیته های پایین، فاز مایع باعث روانکاری محیط شده و بازدهی فرایند خردایش را کاهش داده در حالی که قادر است ذرات ریز



شکل ۲۱. هندسه آسیای برجی شبیه‌سازی شده توسط DEM همراه با جریان سه‌بعدی محیط خردایش شامل محفظه، همزن و گلوله‌ها.

1. pseudoplastic
2. dilatant
3. Discrete Element Method



شکل ۲۲. توزیع حالت ایستای: الف) کسر جامد، ب) سرعت شعاعی، ج) سرعت مماسی و د) سرعت محوری مربوط به محیط خردایش با توجه به نتایج شبیه‌سازی DEM مربوط به آسیای برجی.

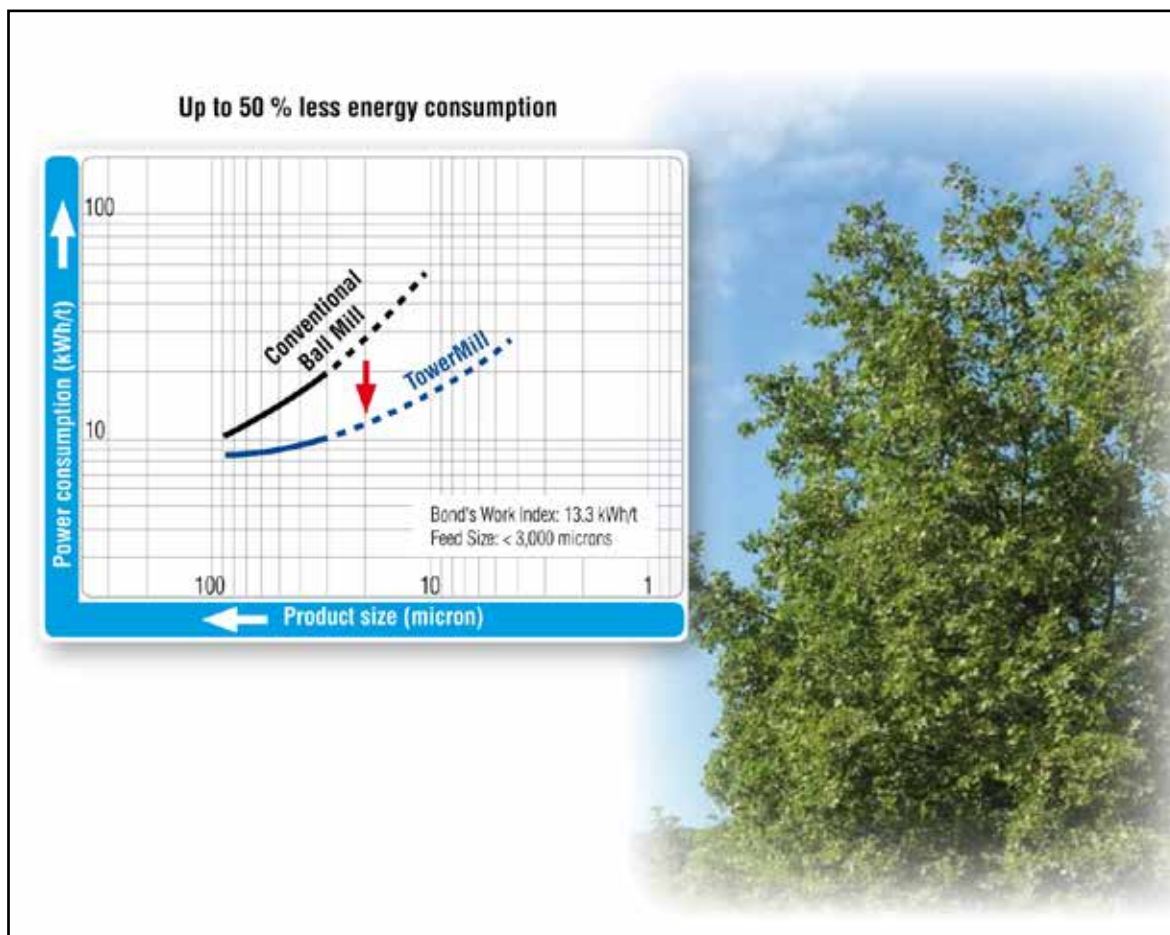
به‌منظور ارائه راه‌حلی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی وجود دارد. پتانسیل ذخیره انرژی به میزان بیشتر از ۵۰٪ برای آسیای برجی نشان می‌دهد که هدف‌های مربوط به افزایش بازدهی انرژی در ترکیب با کاهش مؤثر هزینه‌ها در صورت استفاده از آسیای برجی محقق خواهد شد. این موضوع به خوبی با مقایسه آسیا گلوله‌ای معمولی و آسیای برجی ارائه شده در شکل ۲۳ قابل مشاهده می‌باشد.

همچنین توزیع حالت ایستای کسر جامد و سرعت شعاعی، سرعت مماسی و محوری مربوط به محیط خردایش آسیای برجی توسط DEM شبیه‌سازی شده و نتایج در شکل ۲۲ نشان داده شده است.

۳-۸- بازدهی بالای کاهش مصرف انرژی

در مواجهه با افزایش روز افزون قیمت انرژی و همچنین تهدیدات مربوط به تغییرات اقلیمی، تقاضای زیادی





شکل ۲۳. مقایسه میزان انرژی مصرفی و سایز ذرات به عنوان محصول خروجی برای دو آسیا گلوله‌ای و برجی.



امروزه استفاده از آسیاهای برجی در کارخانه های سنگ معدن در سرتاسر جهان روند روز افزونی گرفته به گونه ای که در ۵ سال اخیر بیشتر از ۲۰ آسیای برجی مدل ETM-۱۵۰۰ ساخت شرکت EIRICH در واحدهای مختلف نصب شده است. سایزهای مختلف آسیای برجی متناسب با کاربردهای مختلف در شکل ۲۴ نشان داده شده است.

۳-۹- مزایای آسیای برجی

برخی از مزایای آسیای برجی به شرح زیر می باشد:

۱. کاهش مصرف انرژی از ۲۵٪ تا ۵۰٪ در مقایسه با آسیاهای معمولی
۲. ذخیره سازی انرژی به علت خردایش بسیار مؤثر
۳. طول عمر بالاتر محیط خردایش و سایش کمتر
۴. سایز خوراک کمتر از ۱۰ میلی متر
۵. سایز محصول از میکرون تا کمتر از میکرون
۶. محدوده استاندارد سایز آسیا از ۰.۴ kW تا ۱۱۲۰ kW
۷. صرفه جویی در فضا و مناسب جهت ارتقا
۸. سطح کم نویز و میزان پایین لرزش به علت محفظه کاملاً محصور و افزایش قابلیت اعتماد در فضای باز محیط های خشن
۹. خردایش پیوسته همراه با ظرفیت بالا
۱۰. عدم نیاز به تعمیر بدنه آسیا به علت مکانیزم

۱۱. مکنیزم خردایش ساده، ساختار جامد
۱۲. سیستم لاینرهای آسیا با خاصیت خردایش اتوژنیوس کارآمد
۱۳. اجزای محرک کمتر و در نتیجه ایمنی بالاتر و تعمیرات کمتر
۱۴. تحمل بارهای متقارن و افزایش زمان سرویس دهی به علت طراحی مناسب شافت عمودی و همزن پیچشی
۱۵. نیاز به فضای کمتر
۱۶. آپشن روانکاری موتور به صورت کاملاً اتوماتیک و در نتیجه حذف سرویس دستی مکرر
۱۷. خنک کاری چرخ دهنده کاهنده سیاره ای دو مرحله ای همراه باروغن روانکار توسط آب و هوا
۱۸. کاهش هزینه های CAPEX و OPEX

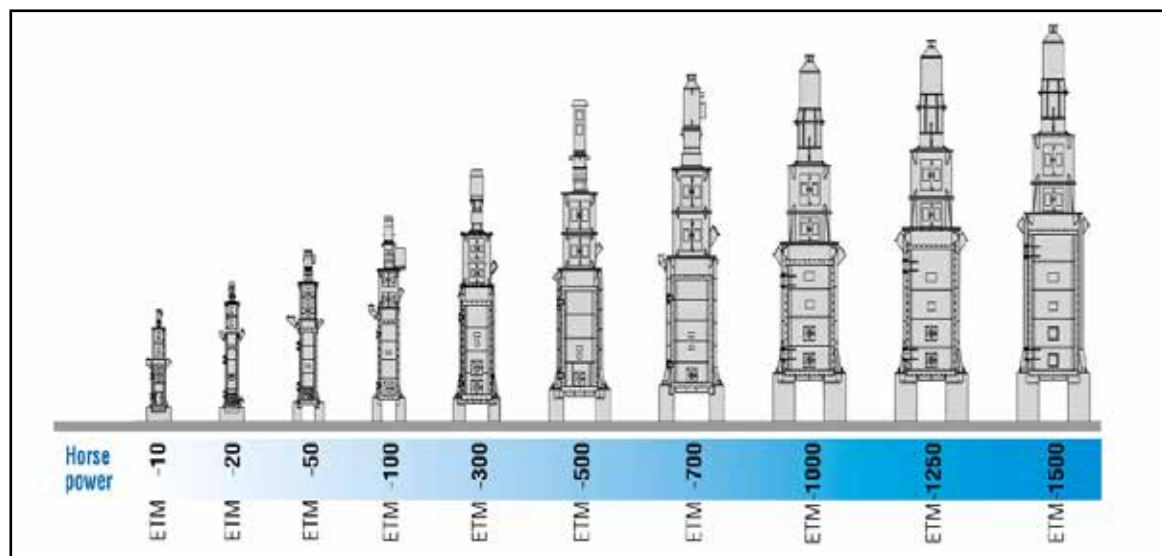
جمع بندی

همان طور که بیان شد، کاهش مصرف انرژی و افزایش بازدهی فرایند خردایش منجر به تمایل جهت به کارگیری تجهیزات نوین در زمینه تولید کنسانتره آهن شده است. مکانیزم های خردایش مؤثری جهت افزایش بازدهی فرایند خردایش در آسیاهای نوین مد نظر قرار



افزایش بازیابی و سرعت انحلال در فراوری به روش هیدرو متالورژی می‌شود. همچنین آسیای برنجی مصرف انرژی را به میزان ۵۰٪ کاهش داده و به دلیل طراحی مناسب، هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری آن بسیار کمتر از آسیاهای متداول می‌باشد.

گرفته است. در این مقاله دو آسیا غلتکی فشار بالا و برنجی به عنوان جایگزین مناسبی برای خردایش کانی‌های سنگ آهن معرفی شدند. استفاده از HPGR موجب افزایش بازیابی و کاهش اتلاف ماده معدنی در فراوری ثقلی، افزایش بازیابی و کاهش مصرف مواد شیمیایی در فراوری به روش فلو تاسیون و



شکل ۲۴. مدل‌های مختلف آسیای برنجی با ظرفیت‌های متنوع برای کاربردهای مختلف، تولید شده توسط شرکت EIRICH



منابع و مراجع

- 1- Plath, H., High Pressure Grinding Rolls for Copper-Gold Ores and Other Mineral Applications, McGill Professional Development Seminar Notes, 2005.
- 2- Aydogan, N.A., Ergun, L., Benzer, H., High Pressure Grinding Rolls (HPGR) Applications in the Cement Industry, Minerals Engineering, 19, 130-139, 2006.
- 3- Ozcan, O., Aydogan, N.A., Benzer, H., Effect of Operational Parameters and Recycling Load on the High Pressure Grinding Rolls (HPGR) Performance, International Journal of Mineral Processing, Article in Press, 2014.
- 4- Maxton, D., Morley, C., Bearman, R., Recrush HPRC Project: The Benefits of Higher Pressure Rolls Crushing, Proceedings of the Crushing and Grinding Conference, Australia, 2002.
- 5- Bleifuss, R.L., Goetzman, H.E., Benner, B.R., Zhong, S., Evaluation of a High Pressure Roller Press for Taconite Comminution. In: Comminution Practice, Kawatra, I.S. (Ed.), SME, USA, pp. 127-135, 1997.
- 6- Saramak, D., Kleiv, R.A., the Effect of Feed Moisture on the Comminution Efficiency of HPGR Circuits, Minerals Engineering, 43-44, 105-111, 2013.
- 7- Schneider, C.L., Alves, V.K., Austin, L.G., Modeling the Contribution of Specific Grinding Pressure for the Calculation of HPGR Product Size Distribution, Minerals Engineering, 22(7-8), 642-649, 2009.
- 8- Benzer, H., Aydogan, N.A., Dündar, H., Investigation of the Breakage of Hard and Soft Components under High Compression: HPGR Application, Minerals Engineering, 24(3-4), 303-307, 2011.
- 9- Altun, O., Benzer, H., Dündar, H., Aydogan, N.A., Comparison of Open and Closed Circuit HPGR Application on Dry Grinding Circuit Performance, Minerals Engineering, 24(3-4), 267-275, 2011.
- 10- Jankovic, A., Suthers, S., Wills, T., Valery, W., Evaluation of Dry Grinding Using HPGR in Closed Circuit with an Air Classifier, Minerals Engineering, 71, 133-138, 2015.
- 11- Hanks, J., Barret, D., Sampling a Mineral Deposit for Metallurgical Testing and the Design of Comminution and Mineral Separation Processes, In: Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control, Mular, A.L., Halbe, D.N., Barratt, D.J. (Eds.), pp. 99-116, SME, USA, 2002.
- 12- Prasher, C.L., Crushing and Grinding Process Handbook, John Wiley & Sons, USA, 1987.
- 13- N.A. Chapman, N.J. Shackleton, V. Malysiak, and C.T. O'Connor, "Comparative study of the use of HPGR and conventional wet and dry grinding methods on the flotation of base metal sulphides and PGMs", The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol 113, pp.407-413. 2013.
- 14- Gens, A.H., Benzer, S.L., Ergun, S.L., "Effect of High Pressure Grinding Rolls (HPGR) on performance of twocompartment cement



ball mill". 11th International Mineral Processing Symposium, Belek-Antalya, Turkey, p. 69, 2008.

15- Schönert, K, "First survey of grinding with high-compression roller mills". International Journal of Mineral Processing 22, 401-41. 1988A.

16- Schneider, L.C., Alves, K.V., Austin, G.L., "Modelling the contribution of specific grinding pressure for the calculation of HPGR product size distribution". Minerals Engineering 22, 642-64, 2009.

17- Aydog'an, N.A., Ergün, L., Benzer, H., "High pressure grinding rolls (HPGR) applications in the cement industry". Minerals Engineering 19 (2), 130-142, 2006.

18- Y. Ghorbani a, A.N. Mainza, J. Petersen, M. Becker, J-P. Franzidis, J.T. Kalala, "Investigation of particles with high crack density produced by HPGR and its effect on the redistribution of the particle size fraction in heaps", Minerals Engineering 43-44, 44-51, 2013.

19- Herbst, J.A.; and Fuerstenau, D.W., "the zero order production of fine size in comminution and its implication in simulation", Trans. SME, AIME, Vol. 241, pp: 538-54, 1968.

20- Austin, L. G., Klimpel, R. R., and Lucki, P. T., „Process Engineering of Size Reductions, Chapter 9."In Methods for Direct Experimental Determination of the Breakage Functions", New York: SME-AIME, 1984.

21- Austin, L. G., Julianelli, K., and Schneider, C. L., „Simulation of wet ball milling of iron ore at Carajas, Brazil". International Journal of Mineral Processing, 84, pp. 157-171, 2007

22- Koleini, S.M.J., Barani, K., Rezaei, B., The effect of microwave treatment upon dry grinding kinetics of an iron ore", Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review Journal, vol. 33 (2), pp.159-169, 2012.

23- Makokha, A.; and Moys, M. H., „Towards optimizing ball-milling capacity: Effect of lifter design." Minerals Engineering", 19, pp. 1439-1445, 2006

24- Austin, L. G., „A review introduction to the mathematical description of grinding as rate process." Powder Technology, 5, pp. 1-17, 1972

25- Austin, L. G., Julianelli, K., and Schneider, C. L., „Simulation of wet ball milling of iron ore at Carajas, Brazil"" International Journal of Mineral Processing, 84, pp. 157-171, 2007

26- EIRICH TowerMill Vertical agitated media mill

27- Matthew D. Sinnott, Paul W. Cleary and Rob D. Morrison, „Slurry flow in a tower mill, Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia, 2009

28- Mazzinghy, D. B., C. L. Schneider, V. K. Alves and R. Galéry, „Vertical mill simulation applied to iron ores." Journal of Materials Research and Technology, 186-190, 2015.

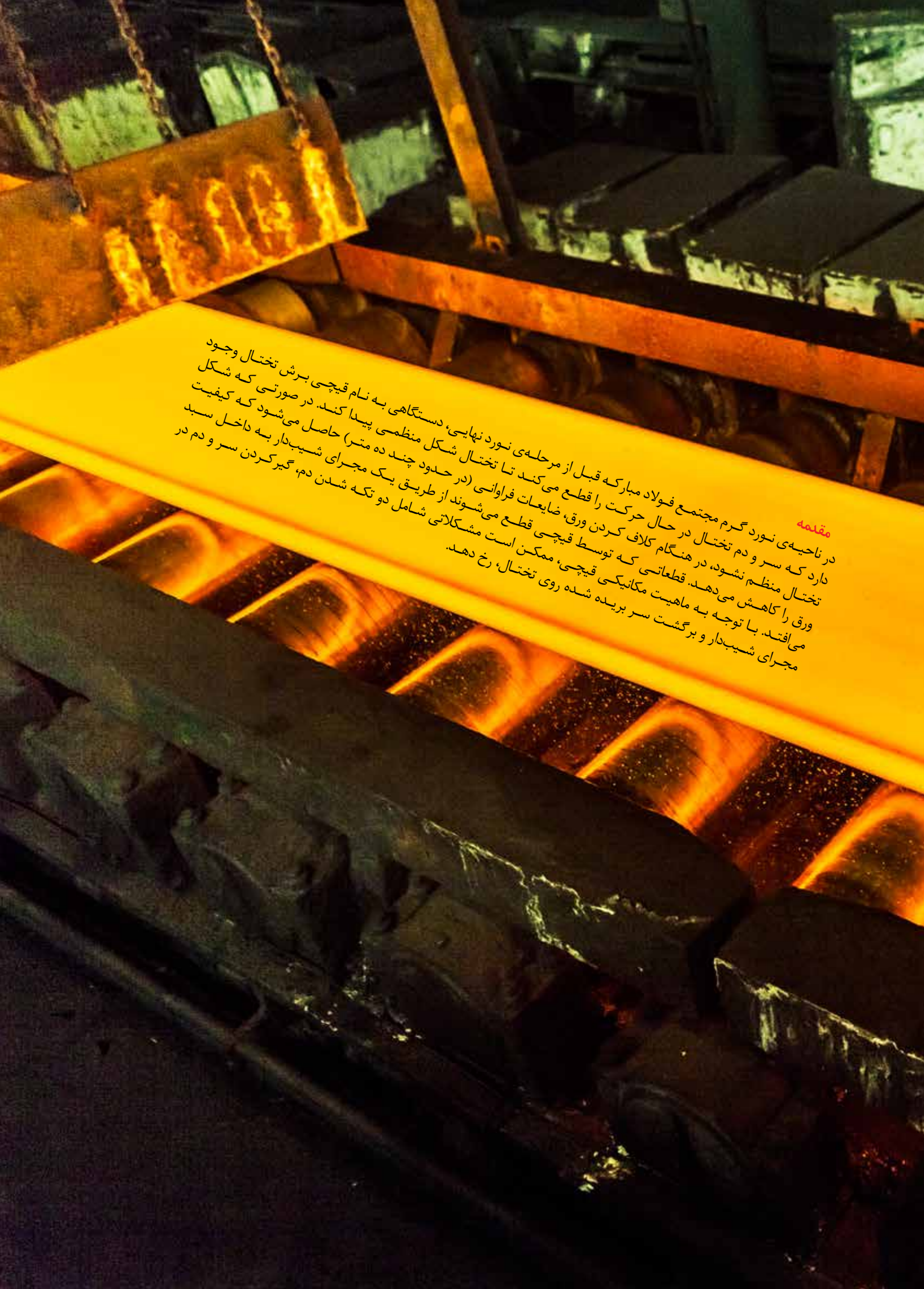


بررسی عملکرد قیچی تختال در ناحیه نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه مبتنی بر پردازش تصویر

امیر حسین ابراهیمی^۱، مهدی حیدری^۲، پویان صاحبی^۳، رسول امیرفتاحی^۴، رضا قربانی^۵، ابوالقاسم نیکزاد^۶
^۱ و ^۲ شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان - ساختمان شیخ بهایی، واحد ۲۴۰، شرکت دیده رایان صنعتی اصفهان
^۴ دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده برق و کامپیوتر
^۵ مجتمع فولاد مبارکه - واحد نورد گرم
^۶ مجتمع فولاد مبارکه - واحد تحقیق و توسعه

چکیده
امروزه در فرآیندهای صنعتی، نظارت خودکار به عنوان عاملی مهم در کاهش خطاهای انسانی، افزایش کیفیت محصولات و کارایی سیستم و همچنین افزایش میزان رضایتمندی مشتری، به شمار می آید. در فرآیند تولید ورق های فولادی در نواحی نورد گرم، قیچی برش تختال یکی از اجزای اصلی و مهم به شمار می رود. با توجه به ماهیت مکانیکی این دستگاه، بروز خطاهای ناشی از سوء عملکرد قیچی امری اجتناب ناپذیر است. در این مقاله، برای کاهش خطاهای مربوط به قیچی و نظارت بر عملکرد قیچی سیستمی طراحی شده، ارائه می گردد.

کلمات کلیدی:
قیچی تختال نورد گرم، تصویربرداری مادون قرمز، سیستم مانیتورینگ، پردازش تصویر

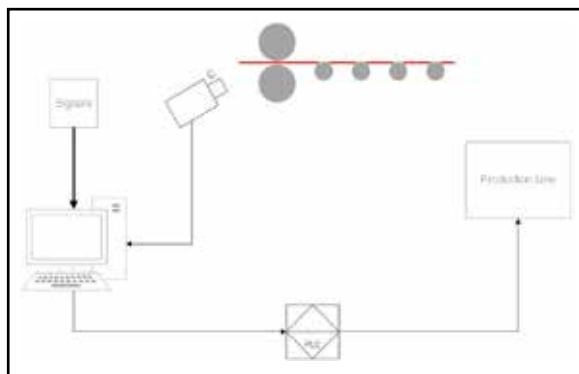


مقدمه

در ناحیه‌ی نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه قبل از مرحله‌ی نورد نهایی، دستگاهی به نام قیچی برش تختال وجود دارد که سر و دم تختال در حال حرکت را قطع می‌کند تا تختال شکل منظمی پیدا کند. در صورتی که شکل تختال منظم نشود، در هنگام کلاف کردن ورق، ضایعات فراوانی (در حدود چند ده متر) حاصل می‌شود که کیفیت ورق را کاهش می‌دهد. قطعاتی که توسط قیچی قطع می‌شوند از طریق یک مجرای شیب‌دار به داخل سبد می‌افتد. با توجه به ماهیت مکانیکی قیچی، ممکن است مشکلاتی شامل دو تکه شدن دم، گیر کردن سر و دم در مجرای شیب‌دار و برگشت سر بریده شده روی تختال، رخ دهد.

روش تحقیق

روند این تحقیق به این صورت است که با استفاده از یک دوربین از قطعات قطع شده اقدام به اخذ تصویر می‌شود. سپس این تصاویر به همراه سیگنال‌های مورد نیاز به سیستم پردازش ارسال می‌شود. با انجام پردازش‌های مربوطه، سیگنال‌(هایی) به کنترلرهای منطقی^۱ واحد فرستاده می‌شود تا در صورت بروز مشکل خط تولید متوقف شود. بلوک دیاگرام کلی این روند در شکل ۱ نمایش داده شده است.



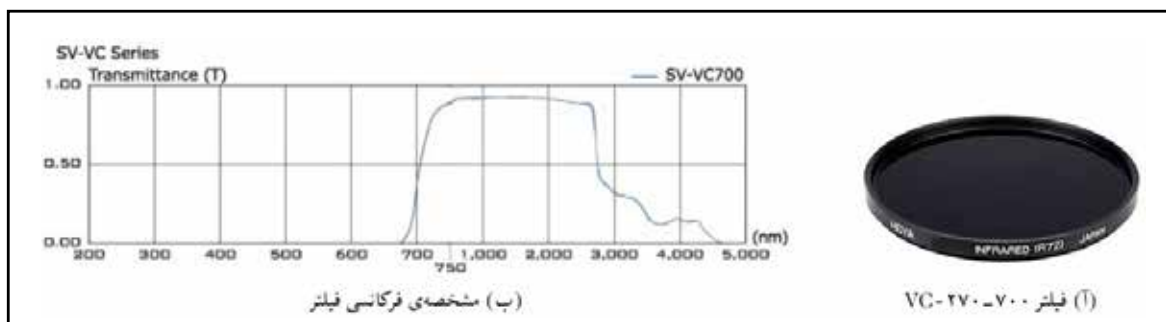
شکل ۱. بلوک دیاگرام کلی سیستم طراحی شده

در ناحیه‌ی نور گرم، اپراتور مربوطه با مشاهده‌ی عملکرد قیچی، وجود یا عدم وجود مشکل در قیچی را گزارش می‌کند. با توجه به این که فرایند نورد گرم نیازمند شست‌وشوی مداوم سطح تختال است، بخار آب فراوانی در محیط به‌وجود می‌آید. در ماه‌های سرد سال، این بخار آب شدت بیشتری پیدا می‌کند و اپراتور دید لازم برای تصمیم‌گیری در مورد عملکرد قیچی را نخواهد داشت و بر حسب تجربه و با شنیدن صدای قطع سر و دم، افتادن یا نیفتادن قطعه را تخمین می‌زند. این موضوع باعث سلیقه‌ای شدن و افزایش خطا در تشخیص می‌شود.

در صورت بروز هر نوع خطایی مربوط به قیچی، ممکن است خسارت‌های مالی و بعضاً جانی در برداشته باشد. در صورتی که سر تختال به روی تختال بازگردد، ضخامت تختال دو برابر می‌شود. اولین قفسه برای نصف این ضخامت تنظیم شده است. در نتیجه ضخامت بالای تختال موجب می‌شود که غلتک‌های قفسه‌ی اول شکسته شود. همچنین با توجه به ماهیت محیط، حضور اپراتورها امری اجتناب ناپذیر است و ممکن است شکستن غلتک‌ها با پرتاب اشیاء همراه باشد که موجب خسارت‌های جانی نیز شود. لازم به ذکر است که این خطا، بسیار نادر و احتمال آن بسیار پایین است.

1. PLC





شکل ۲. فیلتر IR

پاشش شدید آب، بخار آب، پاشش روغن، وجود براده آهن، تردد ماشین‌آلات صنعتی، میدان مغناطیسی شدید و لرزش دستگاه‌های مکانیکی موجب سخت شدن کار در این ناحیه می‌شود. برای رفع هر کدام از این ناملایمات اقداماتی صورت گرفته است. برای مقابله با دمای بالا و در کل حفاظت از دوربین، از محفظه‌ی دوربین^۵ SH12 شرکت تایوانی SAKIA که در شکل ۳ استفاده شده است.



شکل ۳. محفظه دوربین SH12

در این پژوهش، ابتدا سه نوع دوربین معمولی^۱، حرارتی^۲ و مادون قرمز^۳ مورد آزمایش قرار گرفت. به دلیل دمای بالای ورق در حال نورد، استفاده از دوربین معمولی موجب آسیب دیدن لنز دوربین می‌شود. همچنین دوربین‌های حرارتی موجود در بازار ایران بیشتر از نوع قابل حمل بوده و به دلیل شرایط محیطی امکان تعویض باتری وجود ندارد. بهترین گزینه‌ی موجود برای اخذ داده، استفاده از دوربین‌های مادون قرمز است. این دوربین با استفاده از فیلتر IR که در شکل ۲ نشان داده شده است، می‌تواند تنها طیف NIR^۴ را با دوربین دریافت کرد. دوربین انتخابی، دوربین gmNIR-۱۳۰۰۶۰ acA محصول شرکت Basler آلمان است که به همراه لنز VS-۰۶۲۰ VM استفاده می‌شود.

شرایط محیطی بسیار نامطلوب در نورد گرم حکم‌فرماست. شرایطی اجتناب ناپذیر مانند دمای بالا،

1. Vision Camera
2. Thermal Camera
3. Infrared Camera

5. Housing





شکل ۴. مکان‌های پیشنهادی برای استقرار سیستم بینایی

۴ می‌باشد. بررسی و امتیازدهی به هر کدام از مکان‌ها در جدول ۱ آورده شده است. پس از اخذ تصاویر، با استفاده از کارت ورودی-خروجی دیجیتالی PCI-17۵۱-BE شرکت Advantech سیگنال‌های مورد نیاز دریافت می‌شود. این سیگنال‌ها در شکل ۵ به طور تقریبی نمایش داده شده است. با نزدیک شدن تختال به قیچی، سیگنال Bar in Zone فعال شده و هنگام قطع دم تختال سیگنال غیر فعال می‌شود. هنگامی که تختال به زیر قیچی رفت سیگنال Bar in DSC فعال می‌شود. برای قطع سر سیگنال Head Cut و برای قطع دم سیگنال Tail Cut فعال می‌شود.

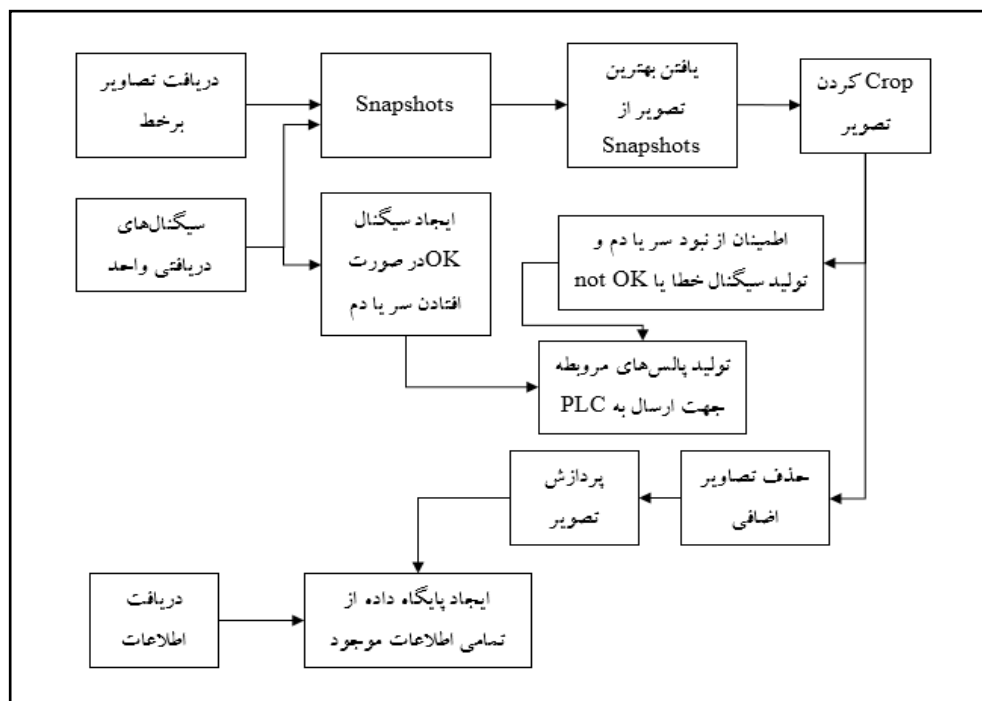
به دلیل ماهیت دوربین NIR وجود بخارات آب تأثیری در اخذ تصویر ندارد. برای غلبه بر میدان مغناطیسی، جعبه‌ای استیل که به عنوان قفس فارادی در نظر گرفته می‌شود، طراحی شده است و محفظه‌ی دوربین در آن قرار می‌گیرد. با جوش دادن یک ورق استیل می‌توان تا حدودی از پاشش آب و روغن و براده آهن به شیشه‌ی محفظه جلوگیری کرد. همچنین با جانمایی مناسب، از برخورد اجسام و ماشین‌آلات با دوربین و لرزش دستگاه‌ها جلوگیری می‌شود. مکان‌های پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است که بهترین مکان، مکان شماره

جدول ۱. بررسی مکان‌های پیشنهادی برای استقرار سیستم پیشنهادی

مکان	حرارت	پاشش آب	بخار آب	دسترسی	لرزش	برخورد با تجهیزات	مجموع
اول	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱۰
دوم	۱	۳	۳	۳	۳	۲	۱۵
سوم	۳	۴	۱	۱	۱	۳	۱۳
چهارم	۴	۲	۳	۴	۴	۴	۲۱



شکل ۵. شکل موج تقریبی سیگنال‌ها



شکل ۶. بلوک دیاگرام سیستم

مفیدی ندارد (تماماً سیاه) بریده^۱ می‌شود. لازم به ذکر است در صورتی که جسم روشنی از جلوی دوربین عبور نکند، تصاویر کلاً سیاه خواهد شد و از این مرحله یک تصویر سیاه بازگردانده می‌شود و مشکلی در ادامه‌ی پردازش رخ نمی‌دهد. با توجه به این که سرعت تصویربرداری دوربین ۴۲ frame/sec است، در ثانیه باید ۴۲ تصویر پردازش شود که نیازی به این کار نیست. قبل از پردازش، بهترین تصویر انتخاب می‌شود. بهترین تصویر، تصویری است که دارای بیشترین روشنایی^۱ باشد.

در صورتی که اپراتور تشخیص دهد که باید به صورت دستی اقدام به قطع سر و دم نماید، سیگنال Kelk Man فعال می‌شود. همچنین ممکن است اپراتور تشخیص دهد که نیاز به قطع دم نیست، در این هنگام سیگنال Tail Off فعال می‌شود. علاوه بر دریافت سیگنال‌های دودویی، اطلاعاتی مانند شماره کلاف، عرض تختال و نوع آلیاژ از طریق بستر شبکه دریافت می‌شود. پس از دریافت سیگنال Head Cut (Tail Cut) به صورت برخط، ابتدا اقدام به پیدا کردن مرکز جسم می‌شود [۱] و [۵]، سپس اطراف جسم در تصویر که اطلاعات

1. Intensity



افتاده ولی سیستم تشخیص نداده است وجود دارد که حدود ۰/۸٪ از کل قطعات در طول یک ماه است که با توجه به درخواست کارشناسان واحد نورد گرم مبنی بر خطای حداکثری ۱٪، درصد قابل قبولی است. لازم به ذکر است که احتمال نیفتادن قطعه و تشخیص توسط سیستم صفر است. همچنین قطع خط تولید توسط سیستم، تنها با تأیید اپراتور مربوطه انجام می‌شود.

با توجه به ماهیت تصادفی جسم که نمی‌توان پیش‌بینی کرد جسم از کدام جهت روبروی دوربین قرار می‌گیرد، برخی از تصاویر ممکن است به صورت یک خط باریک باشند که این امر اجتناب‌ناپذیر است. همچنین برای محاسبه‌ی دقیق‌تر طول قطع، باید حداقل سه دوربین قرار گیرد که با توجه به محدودیت در فضاهای موجود تقریباً امری غیرممکن است.

نتیجه‌گیری

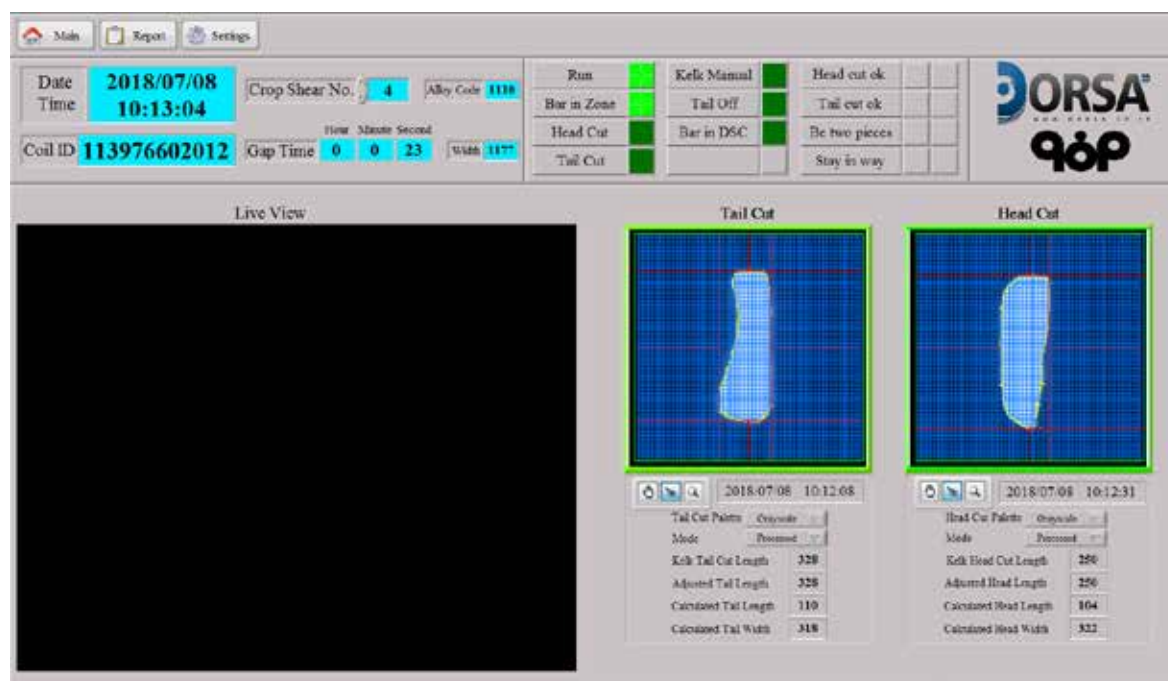
در واحد نورد گرم، فرایند نورد ورق بدون آب امری غیرممکن است. با توجه به دمای بالای تختال، در فضای واحد بخار آب فراوانی وجود دارد. در فصل سرد سال این بخار آب شدت بیشتری دارد به طوری که دیدن قیچی از فاصله‌ای که اپراتور در اتاق کنترل حضور دارد، بسیار دشوار است. سیستم طراحی شده کار را برای اپراتور قیچی تسهیل کرده است. این سیستم از هنگام نصب (حدود یک سال قبل تا به امروز) مورد تأیید کارشناسان واحد نورد گرم قرار گرفته است و مشکل مهمی را حل کرده است.

پس از انتخاب بهترین تصویر، هیستوگرام تصویر محاسبه می‌شود و در صورتی که سطح زیر هیستوگرام از یک مقدار آستانه بیشتر باشد، سیگنال مثبت (قطع سر یا دم) ارسال می‌شود. پردازش‌های جانبی دیگری نظیر محاسبه‌ی طول قطعه‌ی بریده شده و حذف نویزهای تصویر نیز انجام می‌گیرد. پس از این مرحله تصاویر در پایگاه داده ذخیره می‌شوند. بلوک دیاگرام کلی سیستم پردازشی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

در بلوک پردازش تصویر ابتدا با استفاده از فیلتر گوسی اقدام به حذف نویز از تصاویر می‌شود [۴]. سپس با استفاده از الگوریتم سوبل^۱ لبه‌های تصویر تشخیص داده می‌شود [۶] و پس از آن با استفاده از الگوریتم هاف^۲ خط اصلی که همان محل برش توسط قیچی است تعیین می‌شود [۲] و [۳]. با استفاده از الگوریتم هاف زاویه‌ی این خط نسبت به افق مشخص می‌شود و جسم دوران داده می‌شود و سپس طول قسمت بریده شده برحسب پیکسل به دست می‌آید. با داشتن عرض قسمت بریده شده، طول قطعه برحسب میلی‌متر به دست می‌آید.

نتایج و بحث

تمام عملیات ذکر شده در نرم‌افزار LabVIEW صورت گرفته است. با استفاده از این نرم‌افزار رابط کاربری نیز طراحی شده که در شکل ۷ نمایش داده شده است. برای بررسی صحت نرم‌افزار تصاویر به دست آمده از ۱۹ مهرماه ۹۷ لغایت ۱۹ آبان ۹۷ مورد تحلیل قرار گرفته است. در این مدت ۵۱۸۸۴ تصویر به دست آمده است. از این تعداد تصاویر، سیستم تعداد ۵۱۴۶۴ سر و دم را به درستی تشخیص داده است. همچنین ۴۲۰ قطعه‌ای که



شکل ۷. نرم‌افزار طراحی شده

1. Sobel Edge Detection
2. Hough Transform Line Detection



مراجع

- [1] Bradski, G.R., "Real time face and object tracking as a component of a perceptual user interface", *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, 1998.
- [2] Hart, D.R.O., "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures", *Comm. ACM*, 1972. 15: p. 5.
- [3] Leandro A. F. Fernandes, Manuel M. Oliveira, "Real-time line detection through an improved Hough transform voting scheme", *Pattern Recognition*, 2008. 41(1): p. 16.
- [4] R. C. Gonzalez, *Digital Image Processing*. 2008.
- [5] R. Girshick, and J. Malik, "Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation", *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2014.
- [6] Tabbone, D.Z., "Edge detection techniques: An overview", *International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis*, 1998. 8(4): p. 23.

امکان سنجی افزایش عمر صفحات سایشی (ساید گاید) قسمت کلاف پیچ واحد نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه

محسن کریمی^۱، محسن محمدی^۲، محمدرضا طرقي نژاد^۳، علیرضا کی یگانه^۲
^۱ دانشکده مهندسی شیمی و مواد، دانشگاه صنعتی شاهرود
^۲ دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان
^۳ دفتر فنی نورد گرم، شرکت فولاد مبارکه



چکیده

مدت زمان کم و صرف زمان برای تعویض می شود. به همین منظور از آلیاژهای مختلف مقاوم به سایش در شرایط کاری مورد نظر، یعنی فولادهای آلیاژی ضدسایش، فولادهای هادفیلد، فولادهای ابزار گرم کار و فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا سایدگایدی ساخته و عملکرد آنها بررسی شد. نتایج نشان داد که فولاد ابزار گرم کار H۱۳ می تواند به عنوان جایگزین مناسبی برای فولاد St۵۲ به عنوان سایدگایدی های کوپلر نورد گرم مورد استفاده قرار گیرد.

تحقیق حاضر با هدف بهبود و بهینه سازی خواص سایشی صفحات سایشی (سایدگاید) کلاف پیچ خط نورد گرم صورت گرفت. در حال حاضر، از فولاد ساختمانی St۵۲ برای ساخت این صفحات سایشی استفاده می شود. با وجود ارزان بودن، این فولادها سختی نسبتاً پایین و مقاومت کمی در برابر سایش دارند. در نتیجه، استفاده از آنها باعث تحلیل سریع صفحات سایشی، تحمیل هزینه زیاد تعویض در



کلمات کلیدی:

سایش، ورق‌های سایشی سایدگاید، نورد گرم، فولاد هادفیلد، فولادهای آلیاژی ضد سایش، فولاد ابزار گرم‌کار

مقدمه

پدیده سایش، یکی از معضلاتی است که صنعت از دیرباز با آن مواجه بوده و در مدت زمان طولانی مورد بهره‌برداری علمی قرار گرفته است. از دست رفتن تدریجی ماده از آن جهت حائز اهمیت است که شکل قطعه را تغییر داده و بر کیفیت قطعات تولید شده اثر می‌گذارد. مراحل اول سایش شامل تخریب‌های سطحی

است ولی در مراحل بعدی می‌تواند موجب پیدایش اصطکاک، سر و صدا، گرمای ناخواسته و تغییرات ابعادی و در نتیجه عدم کارایی مناسب قطعات شود. این موضوع در مورد قطعاتی که احتیاج مداوم به جابجا شدن دارند بیشتر رخ می‌دهد [۱ و ۲]. سایش از مسائل مهم در صنعت است و هزینه‌هایی بین ۱ تا ۴ درصد تولید ناخالص ملی را شامل می‌شود. بنابراین تلاش‌های زیادی صورت گرفته است که تکنیک‌ها، روش‌ها و مواد مهندسی بکار گرفته شود تا مقدار سایش را کاهش دهد [۳ و ۴].



شکل ۱. (الف) تصویر صفحه سایشی مورد استفاده و (ب) تخریب شدید صفحه سایشی از جنس فولاد St52.

می‌شود. از طرفی، استفاده از این جنس فولاد به عنوان سایدگاید، کیفیت ورق‌های تولید شده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا ذرات کنده شده در نتیجه سایش سایدگایدها، بسیار بزرگ بوده و ماندن هر یک از این ذرات روی سطح ورق و یا چسبیدن آن به پینچ رول کویلرها و اثر آن باعث کاهش کیفیت سطح می‌شود. شکل ۱ الف، تصویر سایدگاید و ۱ ب سایش شدید سایدگاید از جنس فولاد St52 را در اثر حرکت سریع ورق در تماس با آن نشان می‌دهد.

قطعات سایدگاید که در خطوط نورد گرم ورق وظیفه هدایت ورق‌ها را در مسیر مشخص شده بر عهده دارند، از قطعاتی هستند که شدیداً در معرض سایش قرار دارند. در حال حاضر، برای ساخت این سایدگایدها در مجتمع فولاد مبارکه از فولاد ساختمانی St52 استفاده می‌شود. با وجود ارزان بودن، این فولادها سختی نسبتاً پایین و مقاومت کمی در برابر سایش دارند. در نتیجه، استفاده از آنها باعث تحلیل سریع سایدگایدها، تحمیل هزینه زیاد، تعویض در هر شیفت کاری و صرف زمان





شکل ۲. خراش ایجاد شده در سرتاسر صفحه‌سایشی در اثر برخورد ورق نورد شده. خراش صفحه‌سایشی در بزرگنمایی بالاتر. براده‌های ایجاد شده در اثر صفحه‌سایشی.

یک از این ذرات روی سطح ورق و یا چسبیدن آن به پینچرول کویلرها و اثر آن باعث کاهش کیفیت سطح می‌گردد.

سختی ماده، مؤثرترین عامل تأثیرگذار بر مقاومت به سایش خراشان آن است. سختی پایین ورق HB ۵۲ St (۱۸۷ ≤) عامل سایش بسیار شدید ورق و اندازه بزرگ ذرات سایش جدا شده از ورق است. چنانچه بعد از چند شیفت کاری نیاز به تعویض صفحات صفحه‌سایشی می‌باشد. علاوه بر هزینه زیاد هر ورق تعویض شده، خسارات ناشی از زمان و نیروی لازم برای تعویض ورق‌ها نیز قابل توجه است.

افزایش سختی می‌تواند به کاهش نرخ سایش و همچنین کاهش اندازه ذرات سایش کمک کند. به طوری که مشکلات حاضر یعنی هدایت نامناسب ورق در اثر ایجاد شیار عمیق در ورق و تأثیر ذرات

با توجه به مشاهدات انجام شده در مورد قطعه صفحه‌سایشی، مکانیزم غالب سایش آن، خراشان با نرخ سایش بالا است. در این حالت، همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، برخورد ورق نورد شده در حال حرکت با سرعت بسیار زیاد به صفحه سایشی، موجب کندگی ماده از روی آنها می‌شود. اگر یک جسم سخت وارد سطح شده و موجب پارگی شود اصطلاحاً خراش نامیده می‌شود. این خراش همراه با تغییر شکل پلاستیک موضعی است. خراش ایجاد شده در سطح صفحه سایشی در بزرگنمایی بالاتر در شکل ۲ نشان داده شده است. خراش ایجاد شده منجر به ایجاد شیار به عرض و عمق چند سانتیمتر در ساید-گاید می‌شود. با توجه به شکل ۲، براده‌های ایجاد شده ناشی از این خراش بسیار بزرگ و کشیده هستند و همان‌طور که قبلاً بیان شد ماندن هر



ورق‌های کم‌آلیاژ ضد سایش، فولادهای آستنیتی پرمگنیز (هادفیلد)، فولادهای ابزار گرم‌کار مقاوم به سایش، چدن‌های نایه‌پار، فولادهای کم‌آلیاژ استحکام بالا و فولادهای سرد کار مقاوم به سایش اشاره نمود. در نهایت از هر دسته موادی که در بررسی‌های تئوری جهت کاربرد مذکور مناسب تشخیص داده شد، یک گرید شاخص جهت آزمایش در خط تولید مد نظر قرار گرفت.

برای آزمایش هر یک از آلیاژها، قطعه‌ای از هر یک از آلیاژها تهیه و در قسمت انتهایی ساییدگاید ورودی که فقط قسمت انتهایی آن تحت سایش است جوش داده شد. برای مقایسه هر یک از آلیاژها با فولاد St52 که به طور معمول به عنوان ساییدگاید استفاده می‌شود، جنس مورد آزمایش در یک طرف ورق (سمت اپراتور) و جنس St52 در طرف دیگر ورق (سمت موتور) به طور همزمان استفاده شدند. مراحل تولید برای هر یک از آلیاژها در جدول ۴ مشخص شده است.

ساییدگاید آزمایشی از جنس فولادهای منتخب به مدت یک هفته در ورودی کلاف پیچ دوم واحد نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج ناشی از سایش آنها با هم و با فولاد St52 مقایسه شد.

سایش بر کیفیت فرایند تا حد زیادی رفع می‌شود، همان‌طور که ورق قبلی مورد استفاده به عنوان سایید-گاید در مجتمع فولاد مبارکه، یعنی ورق Har-500 dox با سختی 500HB، چنین مشکلاتی را نداشته است. از سوی دیگر به علت وجود ضربه، بخصوص در ساییدگایدهای کوچک، لازم است فاکتورهای استحکام ضربه مناسب و مسائل پروسه ساخت نیز در انتخاب ماده مناسب مد نظر قرار گیرد.

برای مقابله با صدمات ذکر شده، سه روش مؤثر به نظر می‌رسد: (الف) استفاده از آلیاژهای مقاوم‌تر در برابر سایش خراشان نسبت به فولاد St52 (ب) پوشش‌دهی سطح فولاد St52 با استفاده از پوشش‌های مقرون به صرفه و مقاوم در برابر سایش خراشان (پ) تغییر در طراحی صفحه سایشی. تحقیق حاضر با هدف بهبود و بهینه‌سازی خواص سایشی صفحات سایشی کلاف پیچ خط نورد گرم با استفاده از راهکار (الف) صورت گرفت.

روش تحقیق

براساس فاکتورهای فوق، چند خانواده از موادی که عموماً در صنعت جهت کاربردهای ضد سایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شناسایی شده و خواص هر یک مورد بررسی قرار گرفت. از این میان می‌توان به خانواده



نتایج و بحث

۱. بررسی های تئوری

خود را حفظ کند [۵]. در ترکیب این فولاد از عناصری نظیر کروم، مولیبدن و وانادیم استفاده می شود (جدول ۲) که کاربیدهای پایدار آن ها از یک سو موجب افزایش سختی تا حداکثر HRC ۴۴-۴۹ و از سوی دیگر موجب حفظ سختی در دماهای کاری بالا می شود. از سوی دیگر این گرید فولادی دارای پایداری ابعادی قابل توجهی است و تغییر شکل ناشی از کارکرد در دماهای کاری بالا در آن کمتر از فولادهای ساختمانی همچون St52 است.

قطعات از جنس فولاد هادفیلد در صنعت غالباً بصورت آستنیت و کوئنچ شده و بدون اعمال عملیات تمپر جهت کاربردهای ضدسایشی بکار می روند. سختی و چقرمگی این فولادها شدیداً تحت کار سرد و ضربه های مکرر افزایش می یابد و سختی آن ها از حدود HRC ۲۰ به HRC ۵۰-۵۷ می رسد [۶]. لازم به ذکر است که تنها لایه سطحی سخت می شود و لایه های زیرین هنوز نرم و آستنیتی هستند که این موضوع موجب ایجاد داکتیلیته و مقاومت به ضربه قابل توجه می شود [۷]. بر اساس موارد فوق و هزینه پایین این دسته از فولادها،

مشخصات کلی فولادهای متداول جهت کاربردهای ضد سایشی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس مقایسه این ویژگی ها سه دسته ورق های آلیاژی ضدسایش، فولادهای ابزار گرم کار و فولاد هادفیلد جهت آزمایش در خط تولید انتخاب شدند. از هر یک از این گروه فولادها یک فولاد شاخص جهت آزمایش در خط تولید مدنظر قرار گرفت. از خانواده ورق های آلیاژی ضدسایش فولاد تولاکس، از خانواده فولادهای گرم کار فولاد ۱۳H و از خانواده فولادهای هادفیلد، فولاد ۱/۳۴۰۱ انتخاب شد. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی این سه گرید فولادی به ترتیب در جدول های ۲ و ۳ با یکدیگر مقایسه شده اند.

فولادهای تولاکس از جدیدترین فولادهای خانواده ورق های آلیاژی ضدسایش است. این فولاد محصولی از شرکت SSAB سوئد است و ویژه حفظ سختی و استحکام در دماهای کاری بالا طراحی شده است بطوریکه فولاد تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد می تواند ۸۰ درصد سختی اولیه

جدول ۱. مقایسه ویژگی های فولادهای مختلف.

خواص	محیط کونچ	دمای تمپر °C	سختکاری دمای °C	نوع فولاد
مقاومت سایشی و چقرمگی بالا	Water	۲۵۰-۵۰۰ °C	۸۵۰	ورق های آلیاژی ضد سایش
خاصیت کرنش سختی	Water	-	۱۱۰۰	فولادهای هادفیلد
سختی پذیری و عمق سختی بالا، مقاومت سایشی و چقرمگی بالا	Oil-Gas	۵۰۰-۶۸۰	۱۰۰۰-۱۱۰۰	فولادهای ابزار گرم کار
مقاومت سایشی زیاد و چقرمگی کم	-	-	۷۵۰-۸۲۰	چدن نایهارد
سختی پذیری بالا	Oil	۵۴۰-۶۸۰	۸۳۰-۸۶۰	فولادهای عملیات حرارتی شونده

جدول ۲. مقایسه ترکیب شیمیایی فولادهای منتخب

نوع فولاد	ترکیب شیمیایی (درصد)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
Toolox 44	0.32	0.6-1.1	0.8	1.35	0.8	1.0	0.14	-
1.3401	1.10-1.30	0.3-0.5	12-13	≤ 1.50	-	-	-	-
H13	0.37-0.43	0.90-1.20	0.3-0.5	4.8-5.5	1.20-1.50	-	0.90-1.10	-

جدول ۳. مقایسه خواص مکانیکی فولادهای منتخب در دمای محیط

نوع فولاد	YS (MPa)	UTS (MPa)	El (%)	KV (J)	HB
St52	335-355	490-630	15-17	27	146-187
Toolox 44	1300	1450	8	18	450
1.3401	320	880	40	-	200
H13	1650	1990	9	-	550

کرد. فولاد H1۳ از قابلیت ماشینکاری متوسط تا خوب برخوردار است. طبق طبقه بندی، این فولاد دارای ۷۵٪ خواص مکانیکی فولادهای گرم کار گروه تنگستن است. اهم خواص مکانیکی این فولاد در حالت عملیات حرارتی شده در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس این داده‌ها با کنترل شرایط عملیات حرارتی می‌توان سختی بیش از HRC ۵۰ در این فولاد ایجاد کرد.

۲. آزمایش در خط تولید الف) آزمایش فولاد تولاکس

سایدهای از جنس فولاد تولاکس در ورودی کلاف‌پیچ دوم نورد گرم مجتمع مورد استفاده قرار گرفتند. در حالت عادی و هنگام استفاده از آلیاژ St5۲، صفحات سایدهای کوچک در ورودی کلاف‌پیچ دوم پس از یک هفته تخریب و تعویض می‌شدند. در حالی که پس از سه روز استفاده از سایدهای از جنس فولاد تولاکس در این موقعیت، به دلیل سایش و تخریب شدید کارایی خود را از دست داده و از خط خارج شدند.

تصمیم گرفته شد که امکان دستیابی به سختی بیش از HRC ۵۰ در سطح صفحات سایشی با استفاده از مکانیزم کرنش سختی مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور از فولاد هادفیلد ۱۳۴۰۱ استفاده شد. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی این فولاد در حالت آستنیت به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ذکر شده است. مقاومت سایشی این فولاد در حد عالی بوده و سختی سطحی آن در هنگام کار سرد به بیش از HRC ۵۰ افزایش می‌یابد. فولاد H1۳ جزو دسته فولادهای گرم کار کروم‌دار است که عناصر مولیبدن و وانادیم نیز جهت حفظ استحکام در دمای بالا به ترکیب آن افزوده می‌شود. این فولاد به علت دارا بودن دمای تمپرینگ بالا، دارای محدوده دمای کاری تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است [۸]. به علت حضور عناصر آلیاژی همچون مولیبدن و وانادیم سختی این فولاد پس از عملیات حرارتی حداکثر به HRC ۵۸ می‌رسد. از سویی به علت حضور کاربید وانادیم در ترکیب آن، این گرید فولادی دارای مقاومت قابل توجه به شوک حرارتی بوده و می‌توان آن را با آب خنک

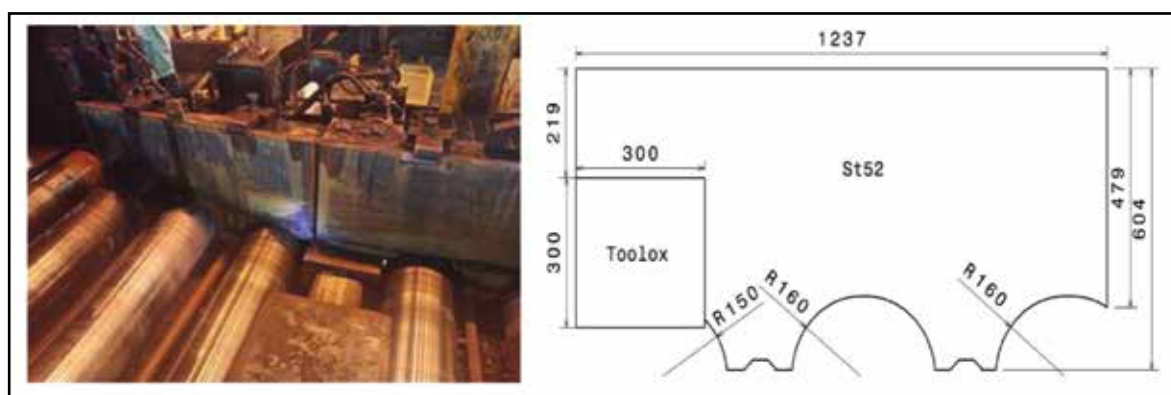


شد که افت محسوسی در سختی اتفاق نیفتاده است (کمتر از ۳ راکول). هر چند می‌توان گفت عموماً مقاومت به سایش فلزات رابطه مستقیمی با سختی آنها دارد، اما این رابطه در سختی‌های زیاد همیشه صادق نیست. سایش سایدگایدهای ورودی کلاف‌پیچ دوم یک سایش شدید تحت اثر بارهای ضربه‌ای ناشی از برخورد ورق‌های در حال ورود به قسمت کلاف‌پیچی است. به نظر می‌رسد که تخریب بیشتر فولاد تولاکس در مقایسه با فولاد St52 احتمالاً به دلیل چقرمگی پایین‌تر آلیاژهای تولاکس است.

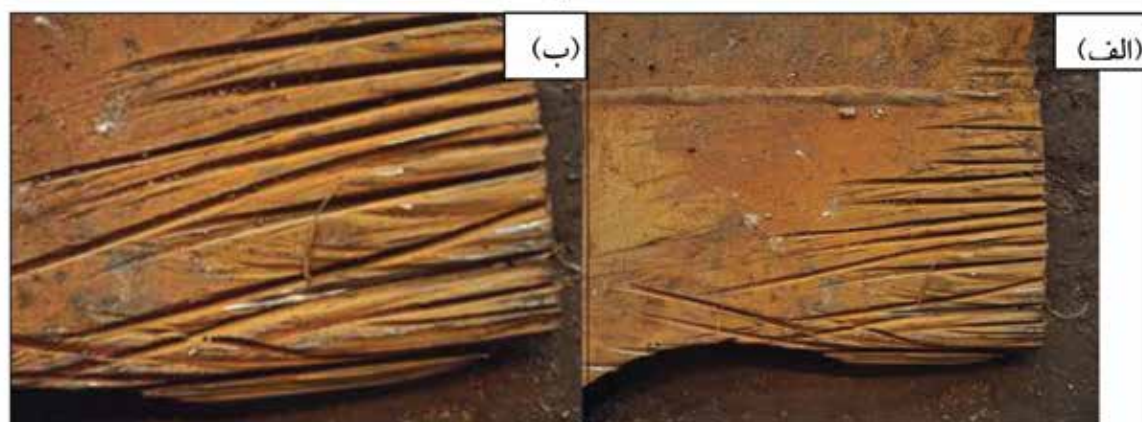
ب) آزمایش فولاد H13

سایدگاید آزمایشی از جنس فولاد H13 به مدت یک هفته در ورودی کلاف‌پیچ دوم مورد آزمایش قرار گرفت. مشخصات کمی میزان سایش در نمونه H13 و سایدگاید St52 مقابل آن (سمت موتور) در جدول ۵ نشان داده شده است. همین‌طور تصویر سطح و مقطع نمونه H13 و نیز ساید گاید St52 نصب شده در سمت موتور، در شکل ۵ آورده شده است. در این تصاویر مشاهده می‌شود که

شکل‌های ۴-الف) و ب) نشان دهنده تصاویر مربوط به سطح سایدگاید تولاکس پس از اتمام زمان استفاده از آن است. مشاهده می‌شود که پس از سه روز استفاده، تعداد خطوط سایشی زیادی در سطح نمونه تولاکس ایجاد شده است. شیارهای ایجاد شده در سایدگاید تولاکس عمق و عرض متوسط به ترتیب برابر با ۵ و ۴ میلیمتر داشتند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، یک قسمت با تخریب موضعی شدید در قسمت بالایی قوس سایدگاید تولاکس اتفاق افتاد، به طوری که ضخامت ورق در این قسمت به صفر رسید. هر چند سختی آلیاژهای تولاکس از سختی آلیاژ St52 بیشتر بوده و به ادعای شرکت سازنده این سختی تا دماهای بالا (۵۰۰ درجه سانتیگراد) حفظ می‌شود، مشاهده شد که عمر سایدگایدهای از جنس تولاکس کمتر است. سختی آلیاژهای تولاکس در دماهای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد به دلیل تمپر شدن ساختار کاهش می‌یابد. برای بررسی احتمال تمپر شدن ساختار و کاهش سختی آلیاژهای تولاکس، سختی آنها پس از استفاده در سایدگاید اندازه‌گیری شد. مشاهده



شکل ۳. الف) نقشه نصب قطعه آزمایشی بر روی صفحه سایشی و ب) تصویر صفحه سایشی نصب شده در خط تولید.



شکل ۴. تصاویر مربوط به سطح سایدگاید تولاکس پس از اتمام زمان استفاده از آن.

از جنس فولاد H13 باقی مانده است که حاکی از عمر به مراتب بیشتر این گرید فولادی است (جدول ۵). به علاوه عرض شیار عمیق ایجاد شده در حد ۲۳ میلیمتر است و مشکل چندانگی در هدایت صحیح ورق ایجاد نمی کند. مجموعه این شواهد نشان می دهد که از نظر کارکرد، گرید فولادی H13 دارای مقاومت بسیار بیشتری نسبت به فولاد ساختمانی St52 بوده و می تواند عمر مفید بیشتری در کاربرد به عنوان سایدگاید داشته باشد.

ج) آزمایش فولاد هادفیلد

سایدگاید مزبور به مدت ۴ روز در محل ورودی کوپلر دوم نصب گردید. تصاویر سطح و مقطع محل ساییده شده قطعه آزمایشی از جنس فولاد هادفیلد و فولاد St52 مقابل آن (سمت موتوری) در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می شود که در زمان یکسان قطعه آزمایشی نسبت به فولاد St52 مقابل آن به شدت ساییده شده است. در سطح قطعه شیاری به عرض ۳ و عمق ۴ میلیمتر ایجاد شده است (جدول ۶).

تعداد خطوط سایشی کمتری در سطح نمونه آزمایشی ایجاد شده است. در سطح نمونه H13 شیاری به عمق ۳ و عرض ۳ میلیمتر ایجاد شده است، در حالی که در نمونه St52 این شیاریها تعداد بیشتری دارند و عمق و عرض آنها نیز بیشتر و به ترتیب برابر ۴ و ۵ میلیمتر است. در هر دو نمونه سایش شدید در ناحیه بالای قوس مشاهده می شود. اما بر اساس اندازه گیری های صورت گرفته، در ورق St52 این ناحیه دارای عرض ۴۰ و عمق ۱۶ میلیمتر است؛ در حالی که در نمونه سایدگاید آزمایشی این ناحیه دارای عرض ۲۳ و عمق ۷ میلیمتر می باشد (جدول ۵). تخریب کمتر فولاد گرم کار H13 به خاطر سختی بالای آن (۵۳ HRC) و دمای بالای تمپر این فولاد است. دمای شروع تمپر شدن فاز مارتنزیتی ایجاد شده در این فولاد در حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد است. بنابراین در دمای کاری سایدگاید های ناحیه کلاف پیچ این فولاد سختی بالای خود را حفظ می کند که مانع از تخریب سریع این فولاد گردیده است. با توجه به ضخامت ۱۸ میلیمتری لبه سایدگاید های کوچک در قسمت انتهایی، می توان نتیجه گرفت که هنوز ۱۱ میلیمتر از ضخامت صفحه سایشی آزمایشی

جدول ۴. مراحل ساخت سایدگاید از هریک از آلیاژها

ماشینکاری	جوشکاری	عملیات حرارتی	ریخته گری	
*	*	---	---	فولاد تولاکس ۴۴
*	*	*	*	فولاد هادفیلد
*	*	*	---	فولاد H 13

جدول ۵. مشخصات کمی میزان سایش در نمونه H13 و سایدگاید St52 مقابل آن پس از یک هفته تست در خط تولید.

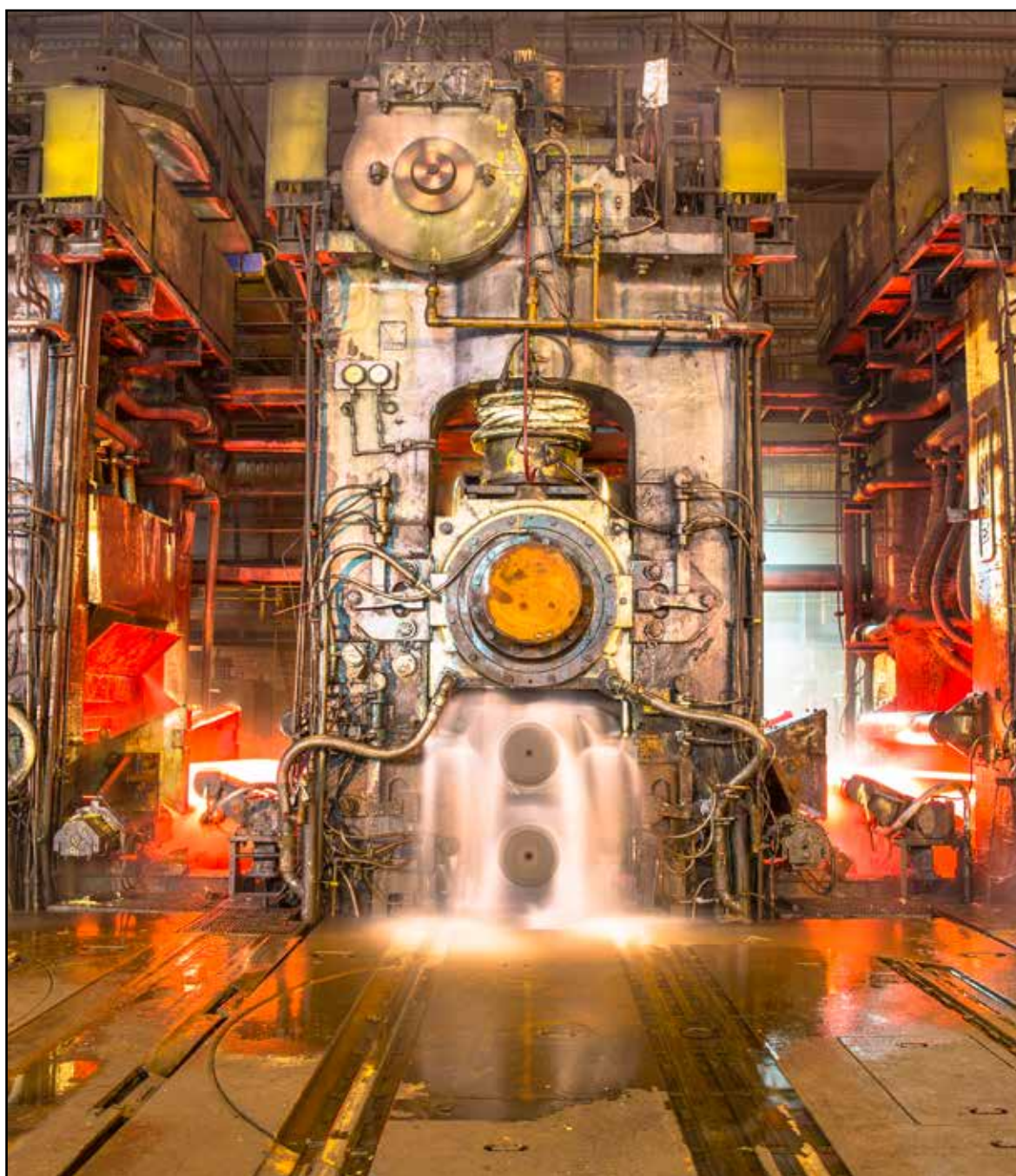
H13	St52	
۳	۴	عمق متوسط شیاریها (mm)
۳	۵	عرض متوسط شیاریها (mm)
۲۳	۴۰	عرض ناحیه گود شده شدید (mm)
۷	۱۶	عمق ناحیه گود شده شدید (mm)
۱۱	۲	مانده گوشت زیر گودشدگی شدید (mm)

جدول ۶. مشخصات کمی میزان سایش در نمونه هادفیلد و قطعه St52 مقابل آن پس از ۴ روز تست در خط تولید.

هادفیلد	St52	
۴	۲	عمق متوسط شیاریها (mm)
۳	۳	عرض متوسط شیاریها (mm)
۳۳	۱۲	عرض ناحیه گود شده شدید (mm)
۱۸	۹	عمق ناحیه گود شده شدید (mm)
۰	۹	مانده گوشت زیر گودشدگی شدید (mm)

علت آستنیته بودن آن می‌باشد. ازدیاد طول بیشتر فولاد هادفیلد موجب می‌شود که علیرغم سختی تقریباً یکسان دو گرید فولادی، سایش و تغییر فرم بیشتری در فولاد هادفیلد، که در اثر مناسب نبودن شرایط کرنش سخت نشده است، ایجاد شود. به این ترتیب هدف از آزمایش فولاد هادفیلد، که دستیابی به سختی بسیار بالایی در حد ۵۵۰-۶۰۰ HB بدون استفاده از عملیات حرارتی بوده است، محقق نگردیده و عمر مفید ساییدگاید ساخته شده از این گرید فولادی از یک هفته نیز کمتر خواهد بود.

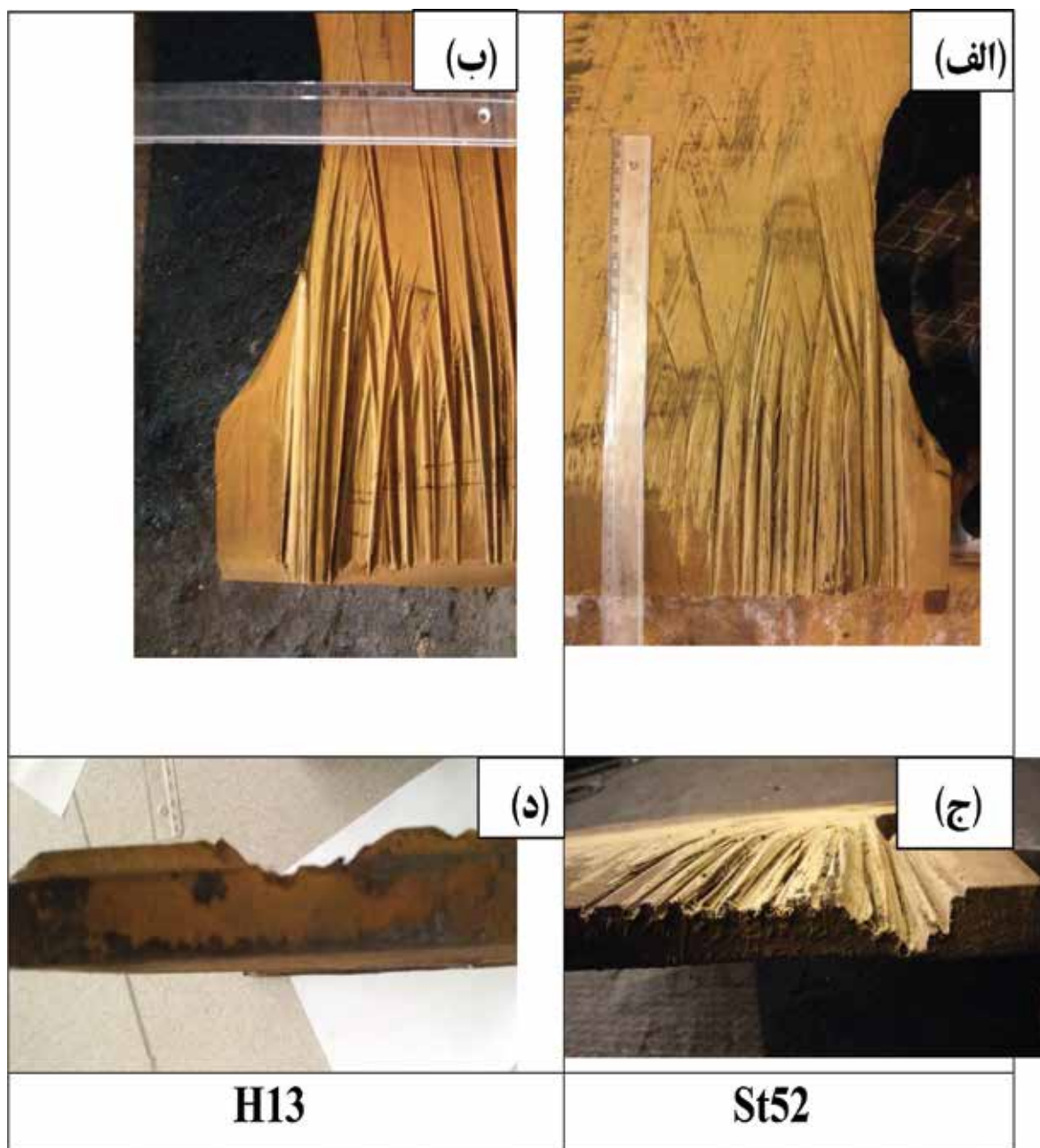
بعلاوه در ناحیه بالای قوس، گودشدگی شدیدی به عرض ۳۳ و عمق ۱۸ میلیمتر ایجاد شده است که بطور کامل در ضخامت صفحه سایشی فرو رفته است (شکل ۶-د). از سوی دیگر، در تصاویر مشاهده می‌شود که در مدت مشابه، سایش فولاد هادفیلد به شدت بیشتر بوده است و پلیسه‌هایی در لبه گودشدگی (شکل ۶-د) ایجاد شده است. این موضوع بر اساس اختلاف شدید درصد ازدیاد طول فولاد هادفیلد با فولادهای ساختمانی قابل بررسی است. ازدیاد طول فولاد St5۲ در حدود ۱۶ درصد است، در حالی که ازدیاد طول فولاد هادفیلد قبل از کرنش سخت شدن در حدود ۴۰ درصد است که به



۳- مقایسه کمی نتایج

همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد، آلیاژهای تولاکس، H13 و هادفیلد ۱۳۴۰۱ به عنوان جایگزین برای آلیاژ St52 در ساییدگی‌های کویلر نورد گرم مورد آزمایش قرار گرفتند. همه این آلیاژها در شرایط تقریباً یکسان کاری یعنی در محل ورودی کلاف‌پیچ دوم در سمت اپراتور (ساییدگی تیپ F کوچک) استفاده شدند تا بتوان عمل‌کرد آنها را با یکدیگر مقایسه کرد. شکل ۷ نشان‌دهنده نمودار مقایسه‌ای پارامترهای مختلف سایش این آلیاژها است. با توجه به اینکه مدت زمان

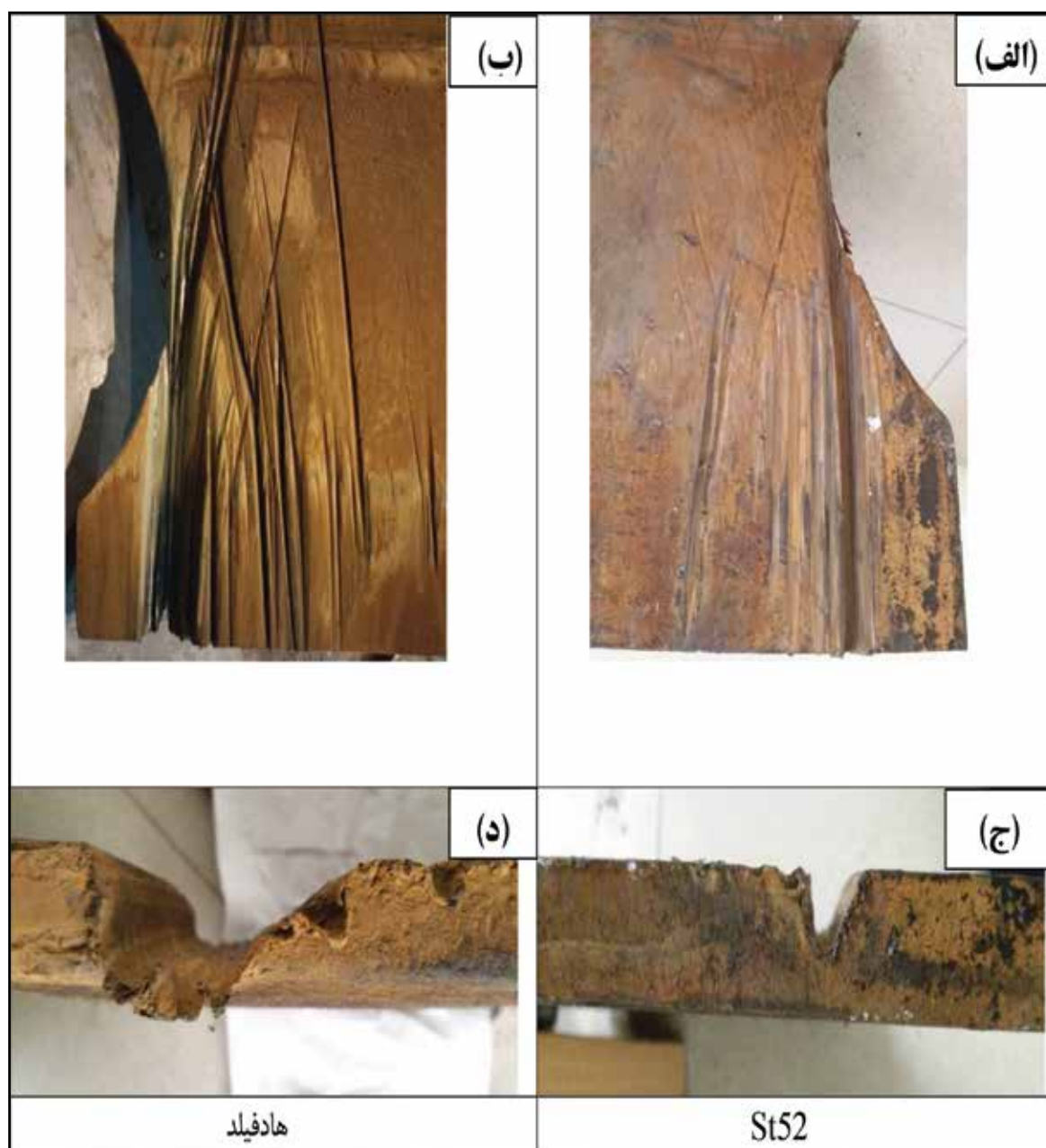
موارد اشاره شده در فوق نشان می‌دهد که در اثر حرکت لبه ورق روی صفحه سایشی که همراه با بریدگی نیز هست، شرایط مناسب جهت ایجاد لایه سخت و مقاوم به سایش بر سطح فولاد هادفیلد و رسیدن به سختی مورد انتظار که در حدود ۵۵۰-۶۰۰ HB است، فراهم نگردیده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از خاصیت کرنش‌سختی فولاد هادفیلد نمی‌توان در مورد صفحات سایشی استفاده نمود و این فولاد گزینه مناسبی جهت کاهش میزان سایش در ساییدگی‌ها نیست.



شکل ۵. (الف، ج) تصویر سطح و مقطع محل ساییدگی فولاد St52 و (ب، د) تصویر سطح و مقطع محل ساییدگی فولاد H13 پس از یک هفته کارکرد آزمایشی در خط تولید.

شکل ۸ نشان دهنده نمودار مقایسه‌ای سایش ساییدگاید از جنس فولاد H۱۳ و ساییدگاید St۵۲ مقابل آن (سمت موتور) است. در این نمودار پارامترهای مختلف مربوط به سایش دو آلیاژ H۱۳ و St۵۲ پس از یک هفته کارکرد قابل مشاهده است. می‌توان دید که میزان تخریب آلیاژ H۱۳ امتحان شده در مقایسه با آلیاژ St۵۲ که به طور معمول در ساخت ساییدگاید کوپلر نورد گرم مجتمع فولاد استفاده می‌شود، بسیار کمتر است. به طوری که پس از یک هفته کارکرد، میزان ضخامت از بین رفته برای St۵۲، ۱۶ میلیمتر و برای H۱۳ برابر با ۷ میلیمتر

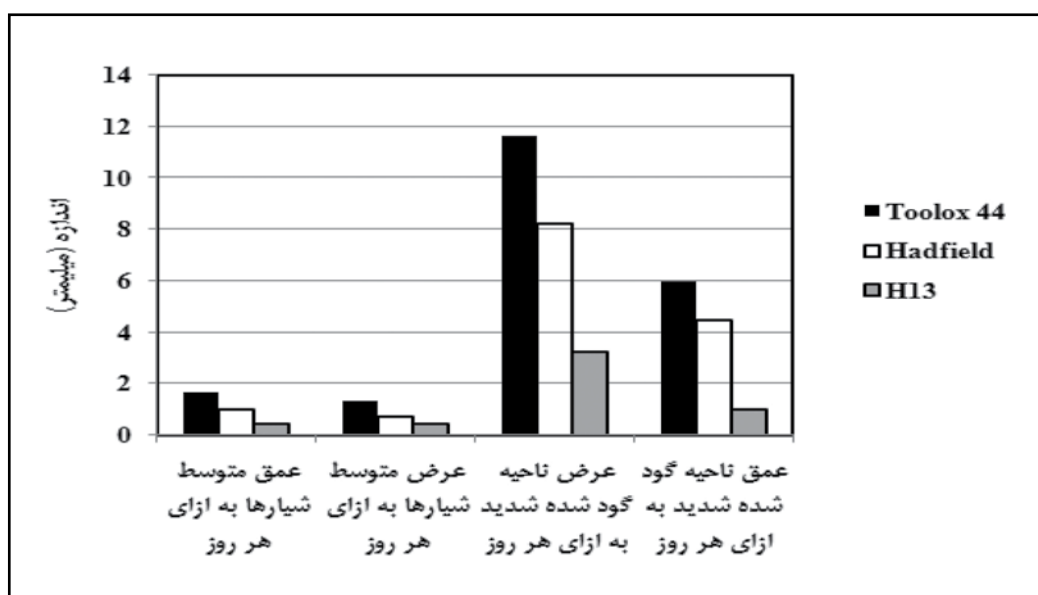
کارکرد آلیاژهای آزمایشی متفاوت بود (تولاکس سه روز، هادفیلد ۱/۳۴۰۱ چهار روز و H۱۳ هفت روز)، مقدار پارامترهای مختلف مربوط به تخریب متوسط هر یک از آلیاژها به ازای هر روز رسم شده است تا مقایسه‌ای واقعی از تخریب آنها به دست آید. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که میزان سایش آلیاژ H۱۳ کمترین مقدار و میزان سایش آلیاژ تولاکس بیشترین مقدار است و کاهش ضخامتی که در اثر سایش آلیاژ H۱۳ در هر روز اتفاق افتاده است، بسیار کمتر از هر دو آلیاژ دیگر است.



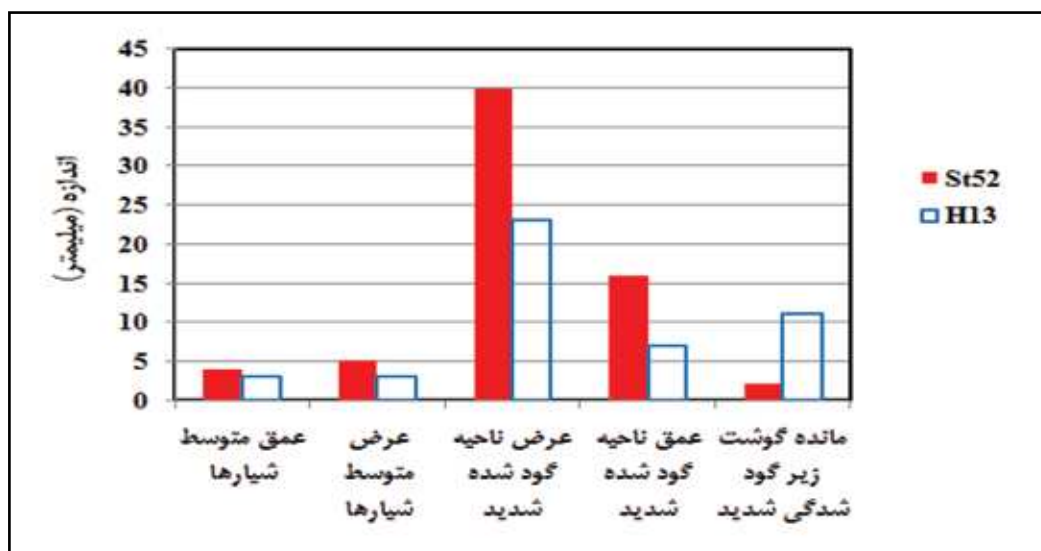
شکل ۶. (الف، ج) تصویر سطح و مقطع محل ساییدگی فولاد St۵۲ و (ب، د) تصویر سطح و مقطع محل ساییدگی فولاد هادفیلد پس از ۴ روز کارکرد آزمایشی در خط تولید.

سایدگایدهای تولید شده از جنس St52 حداکثر یک هفته است. برای لحاظ کردن صرفه اقتصادی فولاد H13 در مقایسه با فولاد St52 نمودار هزینه نسبی فولاد H13 در مقایسه با فولاد St52 در شکل ۹ ترسیم شد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که اگر هزینه استفاده از فولاد St52 را برابر با واحد در نظر گرفته شود، هزینه استفاده از فولاد H13 حدوداً ۱/۶۷ برابر خواهد بود. با توجه به اینکه قیمت لحاظ شده در محاسبات برای فولاد H13 قیمت خرده فروشی در نظر گرفته شده است و از سوی دیگر اگر هزینه‌های اضافی

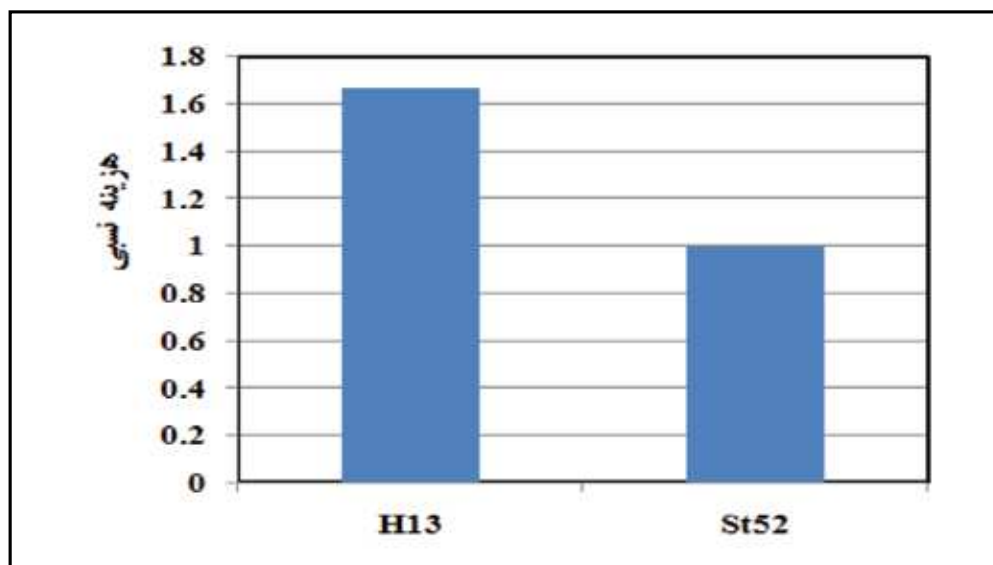
است. مقدار ضخامت باقیمانده پس از این مدت زمان برای دو آلیاژ St52 و H13 به ترتیب ۲ و ۱۱ میلیمتر است. این نشان دهنده مقامت به سایش بسیار بهتر H13 در شرایط کاری سایدگاید است و در نتیجه می‌توان گفت فولاد H13 می‌تواند به عنوان جایگزین فولاد St52 عملکرد بسیار خوبی به عنوان سایدگاید داشته باشد. با توجه به میزان سایش سایدگاید تیپ F کوچک تهیه شده از فولاد H13، می‌توان عمر آن را حدود ۳ هفته تخمین زد (پس از یک هفته کارکرد تقریباً یک سوم از ضخامت آن از بین رفته است)، در حالی که عمر



شکل ۷. مقایسه سایش اتفاق افتاده در سه فولاد استفاده شده به عنوان سایدگاید.



شکل ۸. نمودار مقایسه‌ای سایش فولاد St52 و H13.



شکل ۹. مقایسه صرفه اقتصادی دو فولاد H13 و St52 برای کاربرد به عنوان ساییدگاید.

پایین در شرایط کاری کلاف پیچ سختی خود را از دست داده و کارایی قابل قبولی ندارند. از خاصیت کرنش سختی فولاد هادفیلد نمی‌توان در مورد صفحات سایشی استفاده نمود و این فولاد گزینه مناسبی جهت کاهش میزان سایش در صفحات سایشی نیست.

فولادهای ابزار گرم کار تحت شرایط کاری کلاف پیچ استحکام و سختی خود را حفظ کرده و از کارایی به مراتب بیشتر از فولاد St52 برخوردار هستند.

ناشی از صرف زمان و نیروی کار و متوقف شدن خط برای تعویض ساییدگایدها و همچنین هزینه ساخت نیز در نظر گرفته شود، مشخص است که استفاده از آلیاژ H13 می‌تواند به عنوان یک گزینه قابل رقابت با St52 در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده نتایج زیر حاصل شد: ورق‌های آلیاژی ضد سایش به علت دمای تمپرینگ

مراجع

- [۱] مهدی صالحی، فخرالدین اشرفی زاده، تریبولوژی، "متالورژی سطح و تریبولوژی"، انجمن علوم و تکنولوژی سطوح ایران، ۱۳۷۴.
- [۲] ایان هاجینگز، "تریبولوژی (اصطکاک و سایش مواد مهندسی)"، ترجمه سعیدرضا بخشی، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۳.
- [۳] Tuti Yasmin, Asad A. khalid, M.M. Haque, Tribological(wear) properties of aluminum-silicon eutectic base alloy under dry sliding condition, *Materials Processing Technology*, ۱۵۳-۱۵۴ (۲۰۰۴) ۸۳۳-۸۳۸.
- [۴] Blau, Peter J., ASM Handbook: Volume ۱۸: Friction, Lubrication and Wear Technology, ASM International, ۱۹۹۲.
- [۵] C. Mandolino, E. Lertora, L. Davini, C. Gambaro, "Investigation on gas metal arc weldability of a high strength tool steel", *Materials and Design*, ۵۶ (۲۰۱۴) ۳۴۵-۳۵۲.
- [۶] C. Chen, F.C. Zhang, F. Wang, H. Liu, B.D. Yu, "Effect of N+Cr alloying on the microstructures and tensile properties of Hadfield steel", *Materials Science and Engineering A*, Vol. ۶۷۹, ۲۰۱۷, Pages ۹۵-۱۰۳.
- [۷] E.G. Moghaddam, N. Varahram, P. Davami, "On the comparison of microstructural characteristics and mechanical-properties of high-vanadium austenitic manganese steels with the Hadfield steel", *Materials Science and Engineering: A*, Volume ۵۳۲, ۱۵ January ۲۰۱۲, Pages ۲۶۰-۲۶۶.
- [۸] S.D. Jacobsen, R. Hinrichs, C. Aguzzoli, C.A. Figueroa, I.J.R. Baumvol, M.A.Z. Vasconcellos, "Influence of current density on phase formation and tribological behavior of plasma nitrided AISI H13 steel", *Surface and Coatings Technology*, Volume ۲۸۶, ۲۵ January ۲۰۱۶, Pages ۱۲۹-۱۳۹.

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دو ماهنامه‌ی آهن و فولاد

اهداف فصلنامه:

- ✓ انتقال تجرب علمی و کمک به نشر دانش
- ✓ فراهم کردن زمینه‌های ارتباط علمی بین صنایع و دانشگاهها
- ✓ انتشارات مفاهیم تجربه شده در میدان عمل
- ✓ معرفی فعالیت های علمی و اجرایی فولاد مبارکه
- ✓ انتشار اخبار مهم فولاد در جهان، ایران و اخبار داخلی شرکت فولاد مبارکه اصفهان

شرایط پذیرش مقالات:

- مقاله باید در یکی از موضوعات زیر باشد :
- ✓ محصولات فولادی
- ✓ تکنولوژی تولید فولاد
- ✓ فنی و مهندسی
- ✓ مدیریت
- ✓ ایمنی، بهداشت و محیط زیست
- ✓ کاهش هزینه
- دارای جنبه های علمی و پژوهشی قوی باشد.
- حاوی ایده های جدید، نکات کاربردی، عملی، جدید و نو باشد.
- اصول و قواعد نگارش مورد نظر این مجله رعایت گردد.
- مسئولیت صحت مطالب مندرج در مقاله به عهده نویسنده یا نویسندگان می باشد.

شرایط تدوین مقالات:

- مقاله در محیط نرم افزاری WORD و دارای حاشیه از بالا و پایین ۳ سانتیمتر و چپ و راست ۲.۵ سانتیمتر و فاصله خطوط ۰.۸ سانتیمتر به زبان فارسی تایپ و از طریق سامانه-<http://ironand-steel.msc.ir> بارگذاری گردد.
- مقاله دارای چکیده حداکثر ۱۵۰ کلمه و حجم مقاله حداکثر ۱۵ صفحه باشد و واژگان کلیدی حداقل ۴ و حداکثر ۸ کلمه.
- مقاله های ارسالی باید دارای بخش های زیر باشد:
- عنوان کامل مقاله، نام نویسنده یا نویسندگان، رشته علمی و مسئولیت نویسنده یا نویسندگان، نام مؤسسه یا دانشگاه، محل کار، نشانی کامل (آدرس، تلفن، پست الکترونیک و)...
- بیان مسأله، اهمیت مسأله، اهداف پژوهش، ادبیات موضوع، چهارچوب نظری، فرضیه های پژوهش، روش تحقیق، فنون تجزیه و تحلیل، نتیجه گیری و ذکر منابع (مقالات پژوهشی)
- برای مقاله های مروری چکیده، مقدمه، متن مقاله، ارائه چارچوب ادراکی، جمع بندی و ذکر منابع لازم است.
- ارجاعات در متن و پایان مقاله به روش های زیر باشد:

- الف - مرجع نویسی داخل متن باید در داخل پرانتز و به صورت نام خانوادگی نویسنده، تاریخ انتشار و شماره صفحه باشد.
- ب - مرجع نویسی پایان مقاله بایستی براساس نمونه های زیر به ترتیب الفبایی نام خانوادگی نویسنده مرتب شود.
- ج - در مورد مقالات، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان مقاله، نام مجله، شماره مجله، شماره صفحه
- د - در مورد کتاب، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان کتاب، محل انتشار، ناشر
- عنوان، توضیحات و شماره جداول، الگوها و اشکال، در بالای آن ذکر شود.
- مجله در ویرایش مقاله ها، بدون تغییر در اصل و محتوا آزاد است.
- مقاله های رسیده برگشت داده نمی شود.
- به پیوست یک قطعه عکس با ۳۰۰ dpi از نویسنده یا نویسندگان به همراه ایمیل و شماره تلفن همراه دریافت می شود.

دستورالعمل داوری مقالات مجله آهن و فولاد

اهداف:

- داوری علمی مقالات واصل شده
- حرکت در جهت علمی تر شدن محتوای فصلنامه
- استفاده از نظرات صاحب نظران در غنی کردن فصلنامه

مراحل:

- مقالات واصله که در راستای موضوعات فصلنامه می باشند استخراج و مقوله بندی می شوند.
- مقالات بر حسب تخصص علمی برای دو نفر از اعضاء داوران علمی جهت داوری ارسال می گردد.
- حداکثر دو هفته به داوران فرصت داده می شود که نظرات و نتیجه داوری خود را مطابق فرم پیوست ارائه نمایند.
- در صورتی که دو نفر داور در مورد قابل چاپ بودن مقالات در مجله نظر مثبت داشته باشند، مقالات به صورت مقدماتی پذیرش می شوند.
- مقالاتی که معدل نمرات دو نفر داور بر اساس فرم داوری بین ۳۹-۵۰ باشد به صورت چاپ برای فصلنامه انتخاب می گردند (در صورت زیاد بودن مقالات، مقالات دارای رتبه بالاتر در الویت چاپ هستند)
- جهت اشتراک دو ماهنامه آهن و فولاد فرم زیر را به نشانی پستی زیر ارسال فرمائید :
- استان اصفهان ، شهر مبارکه، صندوق پستی ۱۶۱-۸۴۸۱۵ واحد اطلاعات و انتشارات روابط عمومی - دو ماهنامه آهن و فولاد.

فرم اشتراک

نام: نام خانوادگی: نام پدر: تاریخ تولد:
قسمت یا واحد فعالیت: تحصیلات: شغل:
نشانی:
کد پستی: