

تقدیم به کارآفرینان، مدیران،
کارشناسان و مهندسين حوزه
فولادسازی با کوره های القایی

آشنایی با عملکرد کوره‌های القایی در فولادسازی

نویسندگان:

محمد عسگری

حسام ادیب



آکادمی پاترون



گروه پاترون

سرشناسه	: عسگری، محمد، ۱۳۵۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: آشنایی با عملکرد کوره‌های القایی در فولادسازی/ نویسندگان محمد عسگری، حسام ادیب؛ تهیه شده در گروه پاترون.
مشخصات نشر	: قم: همای غدیر، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۱۲۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-8520-46-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۱۲۷] - ۱۲۸.
موضوع	: کوره‌های القایی Induction furnaces
موضوع	: فولادسازی Steel castings
موضوع	: فولادسازی -- ایران Steel castings -- Iran
شناسه افزوده	: ادیب، حسام، ۱۳۶۰ -
شناسه افزوده	: گروه پاترون
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ۵۵/ع ۶۸۷/ TN
رده بندی دیویی	: ۶۶۹/۱۴۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱۹۵۰۴۲

آشنایی با عملکرد کوره‌های القایی در فولادسازی

تهیه شده در آکادمی پاترون



نویسندگان: محمد عسگری، حسام ادیب

ناشر: انتشارات همای غدیر

مشخصات ظاهری: وزیری

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

نوبت چاپ: دوم / ۱۴۰۳

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۵۲۰-۴۶-۷

قیمت: ۱۸۰,۰۰۰ تومان

هرگونه بهره برداری از مطالب، تصاویر، جداول و ... این کتاب با کسب اجازه کتبی از شرکت گروه بات روشن نیکتا (پاترون) امکان پذیر است.

© تمام حقوق مادی معنوی برای شرکت گروه پاترون محفوظ است.

ایمیل انتشارات: asar.ghadir@gmail.com

تلفن: ۰۲۵-۳۷۸۳۷۱۱۱

PATRON
GROUP

PATRON
ACADEMY

پیش‌گفتار

در میان فلزات موجود در طبیعت، آهن بیش‌ترین مصرف را در جهان به خود اختصاص داده است. حدود ۹۵٪ تولید فلزات در جهان مربوط به آهن بوده به طوری که تولید فولاد خام بیش از ۳۵ برابر تولید آلومینیوم و بیش از ۷۰ برابر تولید مس تصفیه شده است.

اهمیت آهن و فولاد در توسعه جهانی به قدری است که می‌توان گفت آهن بنیان تمدن امروزی را تشکیل می‌دهد.

فراوانی، قیمت پایین، قابلیت بازیافت، استحکام زیاد و همچنین قابلیت آلیاژسازی، ویژگی‌های متنوعی در کاربرد آن ایجاد کرده است. دامنه‌ی این تنوع از تولید سوزن و سنجاق تا کشتی‌های عظیم الجثه و آسمان‌خراش‌ها گسترش دارد. از آن‌جا که صنعت تولید فولاد از جمله صنایع به شدت سرمایه‌بر و نیازمند به تکنولوژی پیشرفته است و به دلیل تأثیر زیادی که بر روی توسعه صنعتی کشورها دارد، صنعت مادر نامیده می‌شود.

از طرفی رشد صنعت فولاد در بررسی پیشرفت اقتصادی کشورها از اهمیت خاصی برخوردار بوده، میانگین سرانه مصرف فولاد در هر کشور به عنوان یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها در جهت شناخت و رتبه‌بندی کشورها از بعد توسعه یافتگی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر مصرف سرانه‌ی فولاد در هر کشور، با سطح سرمایه‌گذاری‌ها، اجرای طرح‌های عمرانی و بالاخره توسعه یافتگی کشورها رابطه‌ی مستقیم و

۶ | آشنایی با کوره القایی

معناداری دارد چراکه با افزایش درآمد سرانه که از شاخص های توسعه محسوب می گردد، مصرف سرانه فولاد نیز افزایش می یابد. بطور کلی، افزایش مصرف سرانه فولاد، از شاخص های کلیدی سنجش رشد اقتصادی هر کشور است و بانک جهانی نسبت ۰/۸۵ درصد رشد اقتصادی را به ازای یک درصد افزایش مصرف فولاد در جهان به عنوان یک نسبت طلایی تثبیت شده تا سال ۲۰۵۰ اعلام کرده است.

در ایران نیز به تولید فولاد توجه زیادی شده و اولین واحد فولادسازی مدرن کشور حدود ۶۰ سال پیش در اصفهان راه اندازی گردید. تکنولوژی های مختلفی برای تولید فولاد وجود دارد که در این کتاب به بحث آن ورود نمی کنیم اما به طور خلاصه باید گفت برای تولید فولاد دو روش کلی اصطلاحاً اولیه و ثانویه وجود دارد. در روش اولیه که با کوره بلند انجام می شود، از سنگ آهن مستقیماً برای تولید فولاد استفاده می شود و در روش ثانویه، از ذوب مجدد فولادی که به شکل قراضه^۱ درآمد، با استفاده از کوره های الکتریکی استفاده می شود. با وجود آنکه بخش اعظم تولید فولاد جهان از روش اولیه و کوره بلند است، اما با توجه به آنکه در ایران از طرفی کمبود زغالسنگ متالورژیکی یا کک شو داریم و از طرف دیگر منابع گاز فراوان در اختیار است، روش ثانویه توسعه بسیار یافته و حدود ۹۰٪ فولاد کشور از روش ثانویه و با کوره های الکتریکی تولید می شود. این کوره ها قابلیت مصرف آهن اسفنجی، در کنار امکان ذوب قراضه، را دارند که از احیای مستقیم سنگ آهن به دست می آید. روش های دیگر تولید فولاد سهم ناچیزی در تولید فولاد در جهان و ایران دارند، لذا به آنها اشاره ای نمی کنیم.

اما امروزه کوره های الکتریکی به طور کلی دو دسته هستند: کوره های قوس الکتریکی و کوره های القایی. مکانیزم کاری این دو تکنولوژی با یکدیگر متفاوت بوده و هر یک مزایا و معایبی دارند. به طور کلی برای تولید فولاد در مقیاس های بزرگ، که معمولاً اقتصادی تر است، از کوره های قوس الکتریکی و برای تولید فولاد در مقیاس های

.....
1 . Scrap

پیشگفتار | ۷

کوچک از کوره های القایی استفاده می شود. هرچند در سالهای اخیر کوره های القایی با ظرفیت ۸۰ تن نیز ساخته شده و در حال کار هستند.

در سالهای اخیر با توجه به موقعیت اقتصاد دنیا و ایران و علی الخصوص با توجه به وضعیت ویژه ایران به لحاظ نیروی انسانی فراوان و نسبتاً ارزان و نیز وسعت زیاد کشور و عدم وجود زیربنای کافی جهت راه اندازی واحدهای بزرگ از قبیل جاده، راه آهن، خطوط گاز، برق و آب و عدم وجود مراکز و امکانات سرویس، تعمیرات و نگهداری، انتخاب ظرفیت های پایین تر تولید، مزیت هایی نسبت به انتخاب ظرفیت های بالا از قبیل امکان سرمایه گذاری توسط بخش خصوصی به واسطه نیاز به سرمایه گذاری کمتر، راه اندازی زودتر واحدها، عدم نیاز به زیرساخت های یک واحد بزرگ، اشتغال زایی بیشتر، رقابت بین این واحدها در عرضه محصولات کیفی و رقابتی، مدیریت آسان تر واحدهای کوچک، تولید واحدها در صورت توقف تولید در یکی از آنها به هر دلیل فنی و یا مالی، انعطاف در تولید محصولات مختلف، پاسخ گویی سریع تر به نیازهای مشتریان، تکنولوژی ساده تر و نیز امکان بومی سازی آن و امکان تغییر تکنولوژی یا ظرفیت تولید در هر یک از این واحدها و عدم نیاز به تغییر در کل واحدها، استفاده از کوره های القایی با اقبال روبرو شده است به طوریکه می توان گفت از سال ۱۳۸۵ که اولین واحد تولید فولاد با کوره القایی در ظرفیت قابل قبول راه اندازی گردید، تعداد واحدهای فولادسازی با کوره القایی به بیش از ۱۸۰ واحد رسید که متعاقباً برخی از آنها تعطیل گردیدند و یا به صنعت ریخته گری و تولید محصولات چدنی و قطعه ریزی رو آوردند.

در سال ۱۴۰۳ در ایران حدود ۱۵۰ کارخانه فعال فولادسازی با کوره القایی وجود دارد که بیش از ۲۰۰ دستگاه کوره القایی را در خود جای داده اند. بر اساس آمار گروه پاترون متوسط ظرفیت این کوره ها حدود ۱۰ تن است. اگر به طور متوسط حداقل ۱۵۰ نفر در هر یک از این کارخانجات مشغول به کار باشند، تعداد شاغلین مستقیم این بخش از

۸ | آشنایی با کوره القایی

صنعت حدود ۲۲,۵۰۰ نفر است. بر اساس آمار جهانی به ازای هر یک نفر شاغل در صنعت فولاد سه و نیم نفر به طور غیر مستقیم مشغول به فعالیت هستند که آمار غیررسمی نسبت شش نفر و تا دوازده نفر را برای ایران ذکر کرده اند. چنانچه متوسط ۸ نفر شاغل غیرمستقیم را به ازای هر یک نفر شاغل مستقیم در نظر بگیریم، حدود ۱۸۰ هزار نفر از این بخش صنعت ارتزاق می کنند که با در نظر گرفتن متوسط جمعیت خانوار ۳/۵ نفر، حدود ۶۳۰ هزار نفر یا به عبارتی بیش از ۷ دهم درصد جمعیت کشور در ارتباط با این بخش از صنعت هستند.

برای این کارخانجات فولادسازی حدود ۲ هزار مگاوات زیرساخت تامین برق ایجاد شده و ظرفیت اسمی آنها به بیش از ۱۵ میلیون تن در سال می رسد. اما طبق آمار گروه پاترون ظرفیت واقعی این کارخانجات، بدون توفقات ناشی از کمبود برق و گاز حدود ۸ میلیون تن در سال است. یکی از دلایل مهم راندمان پایین، اجبار به استفاده از آهن اسفنجی است.

لازم به ذکر است سهم تولید فولاد با کوره های القایی حدود ۲۰ درصد از کل تولید فولاد کشور است. با این حال این بخش صنعت به دلیل کم اهمیت شمرده شدن از سوی نهادهای دولتی و فولادسازان بزرگ، حمایت چندانی صورت نگرفته و لزوم خودکفایی این صنعت برای رشد و بهبود خود امری ضروری به نظر می رسد. توسعه تکنولوژی کوره القایی در ایران، پتانسیل های خوب این صنعت جهت رقابت با تکنولوژی های دیگر فولادسازی، نان آوری این صنعت برای حدود ۶۳۰ هزار نفر ایرانی، حدود ۲۰۰۰ مگاوات برق تامین شده برای این صنعت، میلیون ها مترمکعب آبی که سالانه صرف این صنعت می شود و نیز سرمایه گذاری عظیمی که توسط بخش خصوصی انجام گردیده، توجه به بهبودهای مورد نیاز در این بخش از صنعت فولاد را بیش از پیش پراهمیت می سازد.

در اهمیت این بخش از صنعت فولاد باید به این موضوع نیز پرداخت که در کشوری

پیشگفتار ۹۱

مثل هند که جزو پنج کشور بزرگ تولیدکننده فولاد جهان است، بر اساس آمار منتشر شده انجمن جهانی فولاد، در سال ۲۰۱۵، حدود ۹۰ میلیون تن فولاد تولید نموده که حدود ۴۰ میلیون تن آن با کوره بلند و ۵۰ میلیون تن آن با کوره های الکتریکی تولید شده است. متأسفانه در آمار انجمن جهانی فولاد و منابع دیگر، تفکیک تولید فولاد با کوره قوس الکتریکی و کوره القایی ارائه نمی شود اما بر اساس آمار و مقالات منتشر شده در هند، تا قبل از سال ۱۴۰۰ شمسی، سالیانه حدود ۲۵ میلیون تن فولاد با کوره های القایی در حدود ۱۲۰۰ واحد فولادسازی این کشور تولید می شده است. این مقدار تولید فولاد خام با کوره القایی حدوداً معادل کل تولید فولاد ایران بیشتر است. لازم به ذکر است در سالهای اخیر فولادسازان هندی که از کوره های القایی استفاده می کنند، با حمایت دولت این کشور، در خصوص مسائل فنی و محدودیت های کوره های القایی دست به پروژه های مطالعاتی و بهبود زیادی زده اند که راه را برای حفظ و رقابتی کردن این بخش صنعت هموار می کند^۱ و حتی جوایزی را برای بهبود کیفیت محصول فولادی و شاخص های دیگر در نظر گرفته اند^۲. چراکه اهمیت این بخش از صنعت که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد فولاد کشور هند را تولید می کند مشخص شده است.

با وجود اهمیت مذکور، متأسفانه در خصوص موضوعات فنی مربوط به این بخش صنعت، مقالات و کتابهای زیادی در ایران منتشر نگردیده است. لذا شرکت دانش بنیان گروه پاترون، بر پایه تجربیات چندین ساله مدیران خود در فولادسازی با کوره های القایی بر آن شد تا سلسله کتاب های نسبتاً جامع، در خصوص کوره های القایی و فولادسازی با آنها به صنعت کشور تقدیم نماید.

لازم به ذکر است ضعف کمبود مستندات و مقالات و کتابهای مربوط به این صنعت، صرفاً به ایران ختم نمی شود. کشورهای چون هند، بنگلادش، پاکستان و ایران بیشترین

.....
۱. گزارش وزارت فولاد هند - سال ۲۰۱۱ - با عنوان نقشه راه برای تحقیق و توسعه و تکنولوژی برای صنایع آهن و فولاد هند

۲. گزارش وزارت فولاد هند - سال ۲۰۱۱ - با عنوان گزارش روی صنعت فولاد برای برنامه پنج ساله دوازدهم (از ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷)

استفاده از کوره القایی را جهت تولید فولاد انجام می دهند، اما خصوصیات فرهنگی - صنعتی این کشورها اجازه ثبت، تحلیل و انتشار اطلاعات را به طرز شایسته جهت مدل سازی و ارائه راهکارهای بهبود روش های تولید، راندمان، کاهش مصرف انرژی و افزایش سودآوری نداده است. کشورهای غربی هم عموماً از کوره القایی جهت مصارف خاص و ریخته گری قطعات استفاده می کنند و عمده مقالات منتشر شده در راستای همین کاربرد است.

با آنکه انتظارات ما از سطح انتشارات کتب و مقالات در این بخش صنعت برآورده نمی شود اما به هر حال برخی مقالات تحقیقی و علمی قابل استفاده ای در طی این سال ها منتشر گردیده است که راه را برای تحقیقات بعدی باز می کند. هر یک از این تحقیقات از زوایای متفاوتی به موضوعات فوق الذکر نگریسته و مدل جامعی که در برگزیده همه عوامل موثر بر روی راندمان و افزایش سودآوری فولادسازی با کوره القایی باشد ارائه نگردیده است.

در این کتاب سعی نموده ایم به معرفی نسبتاً جامعی از کوره های القایی، اجزا و روش کار آنها پردازیم و در کتاب بعدی، به تشریح مدلی جهت محاسبه پارامترهای تولیدی و سودآوری فولادسازی با کوره القایی پردازیم. همچنین نکاتی در خصوص ظرفیت ها، جانمایی ها و مسائل کاربردی دیگر ارائه خواهد شد. مدلی که در این کتاب بعدی ارائه می شود مدل Patron Steelmaking Model و یا به اختصار PSM می باشد که مدل مدیریت فولادسازی با کوره القایی ارائه شده توسط گروه پاترون است. این مدل سازی هیچ مشابهی در جهان نداشته و برای اولین بار در این سطح جامع، حسب مسئولیت های اجتماعی که گروه پاترون برای خود متصور است، ارائه می گردد.

بدیهی است هر مدلی نیازمند رشد و بهبود است و این مهم بدون خرد جمعی و همکاری صاحبان دانش و تجربه در این حوزه به دست نمی آید. در این راستا گروه پاترون مسئولانه دانش و تجربیات خود را در اختیار صنعت فولاد قرار داده، دست همه

پیشگفتار | ۱۱

فولادسازان و متخصصین این صنعت را، در هر رده و مقامی به گرمی می فشارد و عزم و جدیت خود را در بهبود مطالب ارائه شده به کمک همه اعضای خانواده فولادسازان با کوره القایی اعلام می دارد.

در پایان لازم است از زحمات کلیه همکارانم در گروه پاترون تشکر نمایم، علی الخصوص از آقای مهندس علی سلیمی راد، عضو هیئت مدیره و آقای مهندس کلانتر مدیرعامل گروه پاترون به خاطر همه حمایت هایشان و همه همکاران خوبم که با تلاششان، آرامشی ایجاد کردند تا این کتاب بتواند شکل بگیرد. امیدوارم مطالعه این کتاب، به عنوان مرجعی در فولادسازی با کوره القایی برای همه خوانندگان مفید باشد. از خوانندگان عزیز تقاضا داریم، ما را از نقطه نظرات خود جهت بهبود، اصلاح و تکمیل این کتاب بهره مند سازند و نظرات خود را به آدرس ایمیل info@patron.group ارسال نمایند.

با احترام

حسام ادیب

بنیانگذار گروه پاترون

فهرست مطالب

فصل اول: آشنایی با کوره القایی.....	۱۹
۱-۱ تاریخچه کوره القایی.....	۲۳
۲-۱ مکانیزم گرمایش و ذوب گیری در کوره های القایی.....	۲۹
۳-۱ اجزای مختلف کوره القایی.....	۳۲
۱-۳-۱ بدنه اصلی بوتله.....	۳۵
۱-۳-۲ کویل مسی.....	۳۶
۱-۳-۳ یوک.....	۴۰
۱-۳-۴ رینگ پایینی.....	۴۲
۱-۳-۵ رینگ بالایی.....	۴۲
۱-۳-۶ بلوک های نسوز بالایی و پایینی.....	۴۲
۱-۳-۷ سازه متحرک و ثابت بوتله.....	۴۳
۱-۳-۸ گارد جانبی.....	۴۴
۱-۳-۹ سیستم آشکارساز نشتی جریان.....	۴۵
۱-۳-۱۰ تابلوی کوره القایی.....	۴۶
۱-۳-۱۱ خنک سازی تجهیزات کوره القایی.....	۴۷
۱-۳-۱۲ بانک خازنی.....	۴۸
۱-۳-۱۳ سیستم جمع آوری و تصفیه دود.....	۴۹
۱-۳-۱۴ سیستم شارژ قراضه.....	۵۶
۱-۳-۱۵ سیستم مانیتورینگ و کنترل فرآیند تولید ذوب.....	۵۹
۱-۳-۱۶ سیستم سرباره گیری.....	۶۳
۱-۳-۱۷ سیستم توزین.....	۶۵
۱-۳-۱۸ تاسیسات و سیستم خنک کاری.....	۶۷
۱-۳-۱۹ تاسیسات الکتریکی تولید قدرت.....	۷۷
۱-۳-۲۰ انواع مدارهای تولید قدرت کوره های القایی.....	۷۹
فصل دوم: پارامترهای موثر در طراحی، انتخاب و بهینه سازی عملکرد کوره القایی.....	۸۹
۱-۲ مقدمه.....	۹۱
۲-۲ مفاهیم پایه در گرمایش و ذوب گیری به روش القایی.....	۹۱
۳-۲ پارامترهای مهم در طراحی کوره القایی.....	۱۰۰
۲-۳-۱ فرکانس متوسط یا اصلی بودن کوره.....	۱۰۰
۲-۳-۲ میزان مصرف انرژی کوره.....	۱۰۲

۱۴ | آشنایی با کوره القایی

- ۴-۲ توان اکتیو؛ توان راکتیو؛ ضریب توان ۱۰۲
- ۵-۲ بازده الکتریکی در کوره‌های القایی ۱۰۳
- ۱-۵-۲ آنتالپی ویژه ۱۰۳
- ۲-۵-۲ تلفات الکتریکی ۱۰۴
- ۳-۵-۲ تلفات گرمایی ۱۰۴
- ۴-۵-۲ بازده کلی کوره ۱۰۷
- ۶-۲ طراحی توان کوره ۱۰۹
- ۷-۲ چگالی توان ۱۱۰
- ۸-۲ فرکانس کاری کوره ۱۱۳
- ۹-۲ بهینه سازی در کوره القایی ۱۱۷
- ۱-۹-۲ تنظیم توان ثابت در کانورترها ۱۱۷
- ۲-۹-۲ ترکیب دوقلویی کوره ها ۱۱۸
- ۳-۹-۲ طراحی مدار سوئیچینگ جهت ایجاد فرکانس آلیاژسازی و همگن سازی .. ۱۱۹
- ۱۰-۲ مدیریت انرژی در کوره‌های القایی ۱۲۱
- جمع بندی: ۱۲۵
- منابع: ۱۲۶