

## فهرست

۲	چکیده.....
۳	معرفی شرکت و شیوه ی کار آن.....
۴	مقدمه.....
۵	تاریخچه ریخته گری.....
۹	کوره های القایی.....
۱۲	کوره های ذوب القایی در فولادسازی.....
۱۴	قسمت های مختلف کوره القایی.....
۱۶	عوامل موثر در کار کوره های القایی.....
۲۰	ریخته گری گریز از مرکز.....
۲۴	روش تولید بوش سیلندر اتومبیل.....
۲۷	تصاویر.....
۲۹	منابع و مأخذ.....

## چکیده

بوش سیلندر از جمله قطعات چدنی است که نسبت به ساختار زمینه بسیار حساس است و ویژگی های ساختاری قطعه تعیین کننده عمر و دوام و سلامت موتور اتومبیل می باشد. برای تولید این قطعه در صنعت از دو روش استفاده می شود. روش نخست، ریخته گری در ماسه به روش سیلیکات سدیم است. بوشی که از این روش تولید می شود دارای استحکام پایینی بوده و به علت رطوبت موجود در سیستم، عیوب انقباضی و گازی فراوانی در قطعه مشاهده می شود. روش صنعتی و جدید برای تولید بوش سیلندر ریخته گری در قالب فلزی به روش گریز از مرکز است. در این روش مذاب به سرعت در قالبی که در حال گردش است، ریخته شده، شکل می گیرد. استفاده از روش های گریز از مرکز برای تولید بوش چدنی به جای روش ریخته گری در ماسه دارای مزایای زیر است:

۱. حداقل عیوب گازی و انقباضی به همراه ضریب تراکم جرمی بالا
۲. حذف سیستم راه گاهی و تغذیه و مشکلات موجود در این سیستم ها
۳. حذف سیستم ماهیچه گذاری و مشکلات موجود در این سیستم
۴. تولید بوش با حداقل ضخامت ممکن برای انجام مراحل ماشین کاری
۵. استحکام و خواص مکانیکی بالاتر نسبت به سیستم ریخته گری در ماسه
۶. افزایش سرعت تولید

## معرفی شرکت و شیوه ی کار آن

این شرکت (ذوب فلزات طلوع نیشابور) در سال ۱۳۶۸ تاسیس گردیده و مساحت آن ۷۰۰۰ متر مربع می باشد دارای ۲۵ کارمند در دو شیفت می باشد.

در این کارخانه دو سوله موجود می باشد که در نخستین سوله کوره ی القایی و دستگاه گریز از مرکز می باشد و در سوله ی دوم بخش تراشکاری و انبار است.

در ابتدای ورود به سوله ی نخست ما با مقداری زیاد از پلیسه برخورد می کنیم در جلو تر کوره ی القایی می باشد که مواد لازم را در آن می ریزند تا ذوب شوند ، دمای این کوره ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه ی سیلیسیوس می باشد پس از ذوب شدن مواد آن را درون ظرفی می ریزند و سپس به بخش دستگاه های گریز از مرکز می برند. پیش از این که ماده ی مذاب را درون این دستگاه بریزند آن را روشن کرده تا شروع به چرخش کند و سپس پودر سیلیس می ریزند تا باعث نجسبیدن مذاب به دستگاه شود سپس مواد مذاب را درون قالب ریخته و بسته به ضخامت و قطر بوش آن را با سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت یک تا سه دقیقه نگه می دارند. سپس دستگاه را خاموش کرده و در آن را باز می کنند تا قطعه ی تولید شده را بر دارند. سپس قطعه ها را در گوشه ای رها کرده تا سرد شوند و بعد از آن به سوله ی دوم که تراشکاری می برند تا عملیات تراشکاری را انجام دهند. در بخش تراشکاری ابتدا قطعه های تولید شده را به اندازه ی مشخصی برش داده و سپس هر کدام درون تراشی می شوند حال به بخش انبار برده می شود تا به بازار ارائه گردد.

## مقدمه

کشف هیچ عنصری نتوانسته است که عنصر یا فلز دیگری را به بوته فراموشی بسپارد زیرا نیازمندی های بشر همواره نامحدود و خواسته های او بی پایان است و مواد و ابزار محدودی در دست دارد که ناگزیر روش جایگزینی را به او آموخته است. اگر مس در ساخت تجهیزات جنگی قدیم اهمیت خود را از دست داد، در عوض در ساخت وسایل حرارتی و انتقال الکتریسیته نظیر سیم های برق اهمیت و ارزش دوباره ای پیدا کرده است.

مسلمانی کسی نمی داند که اولین انسان فلزکار تحت نام « ریخته گر » یا « آهنگر » چه کسی است و همچنین به طور حتم مشخص نیست که اولین فلز که در دست انسان تغییر شکل پذیرفت کدام عنصر است؟ طلا، بنا بر خواص طبیعی و به دلیل حضور خالص آن در طبقات زمین و نیز به علت درخشش آن در نور، شاید اولین فلزی باشد که مورد استفاده ی بشر قرار گرفته است. به هر حال واضح است که اولین انقلاب در صنعت، با دستیابی به مس آغاز شد که از استحکام مطلوبی برخوردار بوده است.

بر اساس شواهد تاریخی، اولین انسان هایی که از فلز استفاده کرده اند، مردمانی از نژاد هند و اروپایی بوده اند که در خاورمیانه (اقوام ساکن در ایران، عراق و ترکیه) زندگی می کردند. تمدن های مصری و چینی از گسترش فرهنگ خاورمیانه به غرب و شرق حاصل شده است.

وقتی که مردمان آسیای صغیر (ترکیه ی فعلی) بر منطقه ی بین النهرین (عراق امروزی) دست یافتند و مردم بومی آن ناحیه را شکست دادند، از سلاح های آهنگری شده استفاده می کردند و با توجه به استحکام بیشتر قطعات چکش کاری شده نسبت به قطعات ریختگی بود که توانستند بر ریخته گران بین النهرین پیروز شوند. بال توجه به وقوع این حادثه در چهار هزار سال پیش از میلاد می توان گفت که ریخته گری قبل از آهنگری آغاز شده است و بدیهی است که عملیات حرارتی به منظور سخت کردن قطعات فولادی نظیر شمشیر و نیزه بسیار جوان تر از هر دو حرفه ی فوق است.

بشر به تدریج دریافت که قدرت آتش که برای ذوب به کار می رود، به مقدار زیادی به هوا بستگی دارد و اگر هوای بیشتری به سوخت رسانیده شود، سرعت ذوب و قدرت آتش بیشتر می شود. بدیهی است نتیجه ی چنین دریافتی از فوت کردن به آتش آغاز شد و سپس به کیسه های دم و یا فوتک ها منجر گردید. امروزه از ونتیلاتور ها و موتور های تنظیم هوا با فشار مناسب استفاده می شود.

## تاریخچه ریخته گری

از نقطه نظر تاریخی ریخته گری را می توان به چند دوره تقسیم نمود:

### دوره برنز (مس و مفرغ) :

دوره برنز در خاور نزدیک و در حدود ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح آغاز شد. نخستین اشیای کشف شده به صورت آلیاژی از مس و آرسنیک (حدود ۴ درصد) بوده است. این آلیاژ که مصرف عمومی داشت ، همزمان با خاور نزدیک در اروپا به خصوص انگلستان نیز مورد استفاده قرار گرفت.

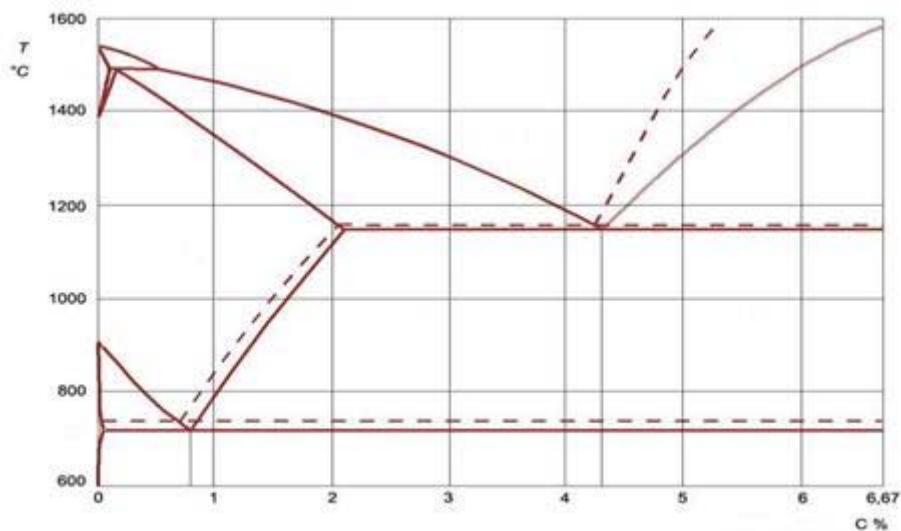


شکل ۱. نمونه هایی از نخستین اشیاء مسی

### دوره آهن :

پیدایش آهن به عنوان یک دوره به ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح می رسد. نام آهن در زبان پهلوی به عنوان الیسن ، در آلمانی آیزن و در انگلیسی آیرون نامیده شده است و احتمالاً به هنگام ذوب مس به آن پی برده اند. در هر حال در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ سال پیش از میلاد آهن تقریباً ماده اصلی اغلب سلاح ها و ابزارها را تشکیل می داد در حالی که برنز به منظور ساخت ظروف و گلدان ها و اشیای تزئینی مورد استفاده قرار می گرفت.

بدیهی است که آهن های به دست آمده در این دوره را نمی توان به ریخته گری نسبت داد بلکه این آهن ها در اثر پتک کاری بر روی آهن اسفنجی به دست آمده اند. با توجه به نقطه ذوب بالا ۱۵۳۶ درجه سیلیسیوس بدیهی است که ذوب مستقیم آهن تا قرن نازدهم ممکن نبوده اما در اواسط دوره ، آهن بر اثر افزایش کربن و پایین آمدن نقطه ذوب آن (در چدن) ریخته گری آن ممکن گردید. نکته مهم دیگر کشف عملیات حرارتی بر روی آهن بود که از اهمیت خاصی برخوردار است. در دوره آهن تحولات جدیدی در آلیاژهای مس نیز به وجود آمد و آلیاژهای مختلفی از مس و قلع ساخته شد.



شکل ۲. دیاگرام تعادلی آهن - کربن ، چگونگی کاهش دمای ذوب آهن با افزایش درصد کربن

از عجایب این دوره ساخت مجسمه رودس است که در سال ۲۹۰ پیش از میلاد ساخته شده و جزء عجایب هفت گانه محسوب می شود. این مجسمه ۳۲ متری که از قطعات مختلف برنز ریخته گری شده و وزنی حدود ۳۹۰ تن داشت طی زمین لرزه ای در دریای مدیترانه غرق شد.



شکل ۳. تصویر مجسمه رودس

### دوره تاریک صنعتی :

در سده های سوم و چهارم پس از میلاد تا قرن چهاردهم میلادی یک دوره رکود در صنایع و از جمله ریخته گری به وجود آمد. البته با توجه به حکومت کلیسا ها و تزئینات آن نظیر ناقوس ، شمعدانی و ... روش های جدیدی در ریخته گری ایجاد شد.



شکل ۴. زنگ کلیسایی باستانی متعلق به کشور اسپانیا

### دوره رنسانس صنعتی :

این دوره از سال ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ میلادی به طول انجامید. در این دوره صنعت توپ ریزی بنا نهاده شد. در ابتدا لوله های توپ از برنز و سپس از چدن ساخته شد و در این رابطه دولت عثمانی نقش زیادی داشت. در این دوره همچنین کوره ها از نظر دمش رونق یافتند و برای مذاب از نگهدارنده استفاده شد. دوره رنسانس صنعتی را علاوه بر تکامل کوره ها و سیستم های دمشی از نظر موارد اولیه باید آغاز استفاده از ماسه و روش ریخته گری در ماسه محسوب کرد.

ظهور چدن و فولاد به عنوان مواد اولیه در ساخت قطعات و لوازم دفاعی و خانگی و نیز استفاده از آلیاژهای متفاوت مس نظیر برنز و برنج و عناصر دیگر و همچنین استفاده از طلا در ساخت زینت آلات و قطعات تزئینی از مظاهر دیگر این دوره است. در این دوره متالورژی به عنوان یک علم مستقل پیشرفت کرد نظریه ی ساختار بلوری فلزات و سایر مواد توسط هارسویکر (فرانسوی) اعلام شد. قرن هفدهم ، قرن دستیابی به ابزار جدیدی به عنوان میکروسکوپ بود که تحولی جدید در علم متالورژی ایجاد کرد.

## دوره انقلاب صنعتی :

یکی از تعاریف انقلاب صنعتی این است که حدود ۵۰ درصد از تولید هر ماده از خانه یا کارگاه های کوچک به کارخانه منتقل شود. مهم ترین تحولات انقلاب صنعتی را می توان ساخت نخستین کوره هواده با سوخت کک در سال ۱۷۰۹ نامید و آبراهام داربی در سال ۱۷۷۷ نخستین کوره بلند خود را برای ذوب و احیای سنگ معدن آهن به کار انداخت.

علاوه بر نوع کوره ، روش دمیدن و استفاده از دمنده های بهتر و اطلاع کافی از وجود واکنش های گرمازا میان هوا و سوخت را باید از عوامل اصلی دیگر در تحول و تکامل ریخته گری محسوب کرد. روش های دمیدن که با استفاده از کیسه هوا (فوتک) انجام می گرفت ، در این دوره جای خود را به دمنده هایی که با موتور بخار کار می کردند داد. همچنین زیمنس در سال ۱۸۴۶ از طریق ذوب چدن و آهن قراضه و استفاده از پودر زغال کک کوره های روبادده را به وجود آورد. استفاده از سرب و روی در ریخته گری به صورت فلزاتی مستقل و نه فقط به عنوان عناصر آلیاژی و به ویژه استفاده از روی برای ساخت ظروف در دوره انقلاب صنعتی معمول شد.

کشف نیکل در سال ۱۷۵۱ و استفاده آن در سال ۱۸۰۰ به عنوان عنصر آلیاژی و نیز کشف و استفاده از دو فلز سبک و پر استحکام آلومینیم و منیزیم از موارد بسیار مهم در این دوره به شمار می آیند.



## کوره های القایی

کوره های القایی در مقایسه با کوره های سوخت فسیلی دارای مزایای فراوانی از جمله دقت بیشتر ، تمیزی و تلفات گرمایی کم تر و ... است. همچنین در کوره هایی که در آن ها از روش های دیگر ، غیر القاء استفاده می شود ، اندازه کوره بسیار بزرگ بوده و زمان راه اندازی و خاموش کردن آن ها طولانی است.

عبور جریان از یک سیم پیچ و استفاده از میدان مغناطیسی برای ایجاد جریان در هسته سیم پیچ ، اساس کار کوره های القایی را تشکیل می دهد. در این کوره ها از حرارت ایجاد شده توسط تلفات فوکو و هیستریزیس برای ذوب فلزات یا هرگونه عملیات حرارتی استفاده می شود.

نخستین کوره القایی که مورد بهره برداری قرار گرفت ، از شبکه اصلی قدرت تغذیه می شد و هیچگونه تبدیل فرکانسی صورت نمی گرفت. با توجه به اینکه افزایش فرکانس تغذیه کوره موجب کاهش ابعاد آن و بالا رفتن توان (تلفات) می شود ، برای رسیدن به این هدف ، در ابتدا منابع تغذیه موتور ژنراتوری مورد استفاده واقع گردید.

هر چند با این منابع می توان فرکانس را تا حدودی بالا برد ، ولی محدودیت فرکانس و عدم قابلیت تغییر آن و در نهایت عدم تطبیق سیستم تغذیه با کوره ، دو عیب اساسی این سیستمها به شمار میرفت. با توجه به این معایب ورود عناصر نیمه هادی به حیطه صنعت موجب گردید منابع تغذیه استاتیک جایگزین منابع قبلی شوند.

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فارادی (Faraday) با ارائه این مطلب که اگر از سیم پیچ اولیه ای جریان متغیری عبور کند ، در سیم پیچ ثانویه مجاورش نیز جریان القاء می شود ، تئوری گرمایش القایی را بنا نهاد. علت اصلی این پدیده القاء ، تغییرات شار در مدار بسته ثانویه است که از جریان متناوب اولیه ناشی می شود. نزدیک به یک صد سال این اصل در موتورها ، ژنراتورها ، ترانسفورماتورها ، وسایل ارتباط رادیویی و ... به کار گرفته می شد و هر اثر گرمایی در مدارهای مغناطیسی به عنوان یک عنصر نا مطلوب شناخته می شد.

در راستای مقابله با اثرات حرارتی در مدارهای مغناطیسی و الکتریکی از سوی مهندسين گام های موثری برداشته شد. آن ها توانستند با موق نمودن هسته مغناطیسی موتورها و ترانسفورماتورها ، جریان فوکو (Eddy Current) را که عامل تلفات حرارتی بود کاهش دهند.

به دنبال آزمایشات فارادی ، قوانین متعددی پیشنهاد شد. قوانین لنز (Lenz) و نیومن (Neuman) نشان دادند که جریان القاء شده با شار القایی مخالفت کرده و به طور مستقیم با فرکانس متناسب می باشد. فوکو (Focault) در سال ۱۸۶۳ در مقاله ای تحت عنوان "القاء جریان در هسته (The Induction Of Current in Cores) که توسط هویساید (Heviside) منتشر گردید نظریه ای راجع به جریان فوکو ارائه داد و در رابطه با انتقال انرژی از یک کوئل به یک هسته توپر بحث نمود. علاوه بر افراد فوق ، تامسون (Thomson) نیز در ارائه نظریه گرمایش از طریق القاء سهم بسزایی داشت.

در اواخر قرن نوزدهم استفاده از تلفات فوکو و هیستریزیس به عنوان منبع گرمایش القائی از طرف مهندسين مطرح شد. همچنین در اوایل قرن اخیر در کشورهای فرانسه ، سوئد و ایتالیا بر اساس استفاده از خازن های جبران کننده توان راکتیو

پیشنهاداتی برای کوره های القایی بدون هسته ارائه شد. در این پیشنهادات بیش تر ذوب فلزات در فرکانس های میانی مورد نظر بود.

دکتر نورث روپ (Northrup) ایده کوره با فرکانس میانی را برای موارد صنعتی گسترش داد. در روزهای نخستین ، بر اثر نبود امکانات از جمله خازن های با ظرفیت کافی و قابل اطمینان ، توسعه و پیشرفت متوقف شد. بعدها در سال ۱۹۲۷ کمپانی کوره های الکتریکی (Electrical Furnace CO. [EFCO.]) نخستین کوره الکتریکی با فرکانس میانی را در شفیلد انگلستان و به منظور آهنگری و گرمادهی موضعی فلزات جهت اتصال به یکدیگر ، نصب کرد.

بعد از این ، تعداد و اندازه این کوره ها رو به افزایش گذاشته است. لازم به ذکر است که مزیت های دیگر کوره های القایی همچون دقت زیاد برای گرم کردن تا عمق مورد نظر و حرارت دادن نواحی سطحی در طی پیشرفت های بعدی (در سال های جنگ جهانی دوم) بیش تر آشکار شد. در گرمایش القایی عدم نیاز به منبع خارجی گرم کننده ، تلفات گرمایی کم تر شده و تمیزی شرایط کار تامین می گردد. در این روش همچنین نیازی به تماس فیزیکی بار و کوئل نبوده و علاوه بر این چگالی توان بالا در مدت زمان گرمایش کم به آسانی قابل دسترس می باشد.

در ابتدا کوره های القایی مستقیماً از شبکه قدرت تغذیه می شدند که به نوبه خود گام موفقی در استفاده از توان الکتریکی جهت عملیات حرارتی به حساب می آمد.

از آنجایی که تلفات فوکو و هیستریزیس با فرکانس نسبت مستقیم دارند و این که ابعاد کوئل کوره با بالا رفتن فرکانس کاهش می یابد ، مهندسين به فکر تغذیه کوره در فرکانس های بالاتر از فرکانس شبکه قدرت افتادند. اولین قدم در این راه استفاده از فرکانس های دو برابر و سه برابر که از هارمونیک های دوم و سوم بدست می آمدند ، بود.

این هارمونیک ها بر خلاف طبیعت مخرب خود در این نوع کاربرد سودمند تشخیص داده شدند. پائین بودن راندمان در استفاده از هارمونیک های فوق موجب گردید طراحان روش دیگری را مورد استفاده قرار دهند در این مرحله سیستم موتور - ژنراتور توسعه یافت که با استفاده از این سیستم توانستند فرکانس تغذیه را تا صدها هرتز افزایش دهند. در کوره های القایی افزایش فرکانس باعث کاهش عمق نفوذ جریان القایی می گردد لذا در عملیات حرارتی سطحی که سختکاری سطح فلز ، مورد نظر می باشد از کوره های القایی با فرکانس بالا استفاده می شود.

با ورود عناصر نیمه هادی مانند ترისტورها ، ترانزیستورها و موسفت ها به حیطه صنعت محدودیت فرکانس و عدم تغییر آن ، در تغذیه کوره ها مرتفع شد.

از لحاظ سیستم قدرت میتوان سیستم های القایی را به چهار دسته اساسی تقسیم نمود:

#### الف ( سیستم های منبع (Supply Systems)

در این سیستم ها که فرکانس کار آن ها بین ۵۰ تا ۶۰ هرتز و ۱۵۰ تا ۵۴۰ هرتز می باشد احتیاجی به تبدیل فرکانس نیست و با توجه به فرکانس کار ، عمق نفوذ جریان زیاد بوده و حدود ۱۰ تا ۱۰۰ میلیمتر می باشد. همچنین مقدار توان لازم تا حدود چندین صد مگا وات نیز می رسد.

### ب) سیستم های موتور – ژنراتور (Motor-Generator Systems)

فرکانس این سیستم ها از ۵۰۰ هرتز تا ۱۰ کیلو هرتز می باشد. در این سیستم ها تبدیل فرکانس لازم بوده و این عمل به وسیله ژنراتورهای کوپل شده با موتورهای القایی صورت می پذیرد. همچنین در این سیستم ها توان به وسیله ماشین های ۵۰۰ کیلو وات تامین می گردد و برای بدست آوردن توان های بالاتر ، از سری کردن ماشین ها استفاده می شود. عمق نفوذ در این سیستم ها به خاطر بالاتر بودن فرکانس نسبت به سیستم ها منبع ، کمتر بوده و در حدود ۱ تا ۱۰ میلیمتر است.

### ج) سیستم های مبدل نیمه هادی (Solid-State Converter Systems)

در این سیستم ها فرکانس در محدوده ۵۰۰ HZ تا ۱۰۰ KHZ بوده و تبدیل فرکانس به طرق گوناگونی صورت می پذیرد. در این سیستم ها از سوئیچ های نیمه هادی استفاده می شود و توان مبدل بستگی به نوع کاربرد آن تا حدود ۲ MW می تواند برسد.

### د) سیستم های فرکانس رادیویی (Radio-Frequency System)

فرکانس کار در این سیستم در محدوده ۱۰۰ KHZ تا ۱۰ MHZ می باشد. از این سیستم ها برای عمق نفوذ جریان بسیار سطحی ، در حدود ۰/۱ تا ۲ میلیمتر استفاده می گردد و در آن از روش گرمایی متمرکز با سرعت تولید بالا استفاده می گردد.

## کوره های ذوب القایی در فولادسازی

امروزه ذوب القایی به صورت گسترده ای در تولید و ریخته گری فولادها و همچنین ذوب آلومینیوم ، مس ، روی و سایر انواع فلزات غیر آهنی استفاده می شود. از مزایای ذوب القایی به عنوان نمونه می توان به راندمان بالای مواد و محیط پاک اشاره کرد که باعث تمایل تولیدکنندگان محصولات فلزی به کوره های ذوب القایی شده است.

در کوره های ذوب القایی ، جریان الکتریکی القا شده توسط میدان مغناطیسی ، ایجاد حرارت می کند و این حرارت باعث ذوب جسم (معمولا فلزات) می شود. فلز درون بوته ای قرار می گیرد که اطراف آن کلاف های مغناطیسی پیچیده شده است و توسط جریان آب خنک می شوند. جریان موجود در کلاف های مغناطیسی ، جریان های گردابی یا فوکو (Eddy Current) را در فلز القا می کند که باعث ایجاد حرارت و ذوب فلز می شود.

مهم ترین انواع کوره های القایی ، کوره القایی بی هسته (Coreless furnace) و کوره القایی کانالی (Channel Furnace) هستند.

در کوره القایی بدون هسته فلز درون یک پوشش نسوز که به وسیله کلاف احاطه شده است ، نگهداری می شود. در این حالت کوره ذوب القایی مشابه یک ترانسفورماتور بدین ترتیب که فلز مانند یک کلاف ثانویه در ترانسفورماتور عمل می کند و با اعمال نیرو به کلاف اولیه احاطه کننده فلز ، جریان های گردابی القا شده و تولید حرارت می کند. پس از ذوب فلز، هم زدن و همگن سازی به طور طبیعی و در اثر وجود نیروها و جریان های الکترومغناطیسی اتفاق می افتد. با انتخاب دقیق فرکانس و نیرو می توانند سرعت ذوب و همگن سازی را کنترل کرد.

کوره های القایی کانالی در گذشته عموماً برای نگهداری فلز مذاب در یک دمای مشخص کاربرد داشته اند ، اما امروزه گاهی اوقات برای ذوب فلزات نیز به کار می روند. این کوره شامل یک القاگر (سلف) به عنوان منبع تولید انرژی است که از چندین رشته کلاف که توسط آب خنک می شوند ، تشکیل شده است. این کوره ها تلاطم سطحی کمتری در بوته نگهداری فلز مذاب دارند، در نتیجه خروج گاز و مواد فرار با مشکل مواجه می شود. لذا جهت عملیات ذوب ، کوره القایی بی هسته ترجیح داده می شود و کوره کانالی بیشتر به منظور نگهداری فلز مذاب در یک دمای مشخص مورد استفاده قرار می گیرد. در حالی که کوره های ذوب القایی کانالی دارای فرکانس خطی هستند ، کوره های بدون هسته می توانند از هر سه نوع فرکانس خطی (۶۰ هرتز) ، فرکانس متوسط (۱۲۰۰-۲۰۰۰ هرتز) و فرکانس بالا (بیش از ۱۲۰۰ هرتز) باشند. با توجه به اینکه شروع به کار کوره های فرکانس خطی با شارژ ماده سرد بسیار آهسته است ، استفاده از کوره های فرکانس متوسط و بالا مورد توجه بیش تری قرار دارد.

استفاده از کوره های ذوب القایی در ظرفیت های پایین تر از ۴۰ تن می تواند منجر به تولید مذاب با کیفیت مناسب و ارزان شود. از مزایای این نوع کوره ها می توان به اپراتور و کارکرد آسان و همچنین افزایش راندمان ذوب فلز اشاره کرد. امکان راه اندازی و شروع به کار فوری کوره باعث کاهش در زمان رسیدن به دمای کارکرد می شود. وجود همگن سازی به صورت طبیعی و تولید مذاب پاک و عدم نیاز به سیستم های کنترل آلودگی با هزینه بالا از مزایای دیگر کوره های القایی محسوب می شود. از دیگر نکات مثبت این کوره ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. عدم نیاز به فضای زیاد و توانایی افزایش سرعت ذوب در کوره های کوچک

۲. مصرف کمتر مواد ، به خصوص مواد نسوز و کاهش زمان تعویض پوشش های نسوز و عدم نیاز به مصرف الکتروود گرافیتی

۳. پایین بودن آلودگی صوتی به نسبت انواع دیگر کوره های ذوب به میزان قابل توجه

۴. بهره وری بالای انرژی

۵. هزینه پایین سرمایه گذاری و تجهیزات جانبی

از طرف دیگر مهم ترین اشکال کوره های القایی دشواری در فرآیند فسفرزدایی و انجام عملیات متالورژیکی ثانویه است. در نتیجه وجود کوره های پاتیلی (Ladle Furnace) در کنار این کوره ها جهت انجام فرآیند تصفیه و افزودن عناصر آلیاژی لازم است. از دیگر معایب این کوره ها ، ظرفیت پایین تر تولید به نسبت کوره های قوس الکتریک می باشد. همچنین در کوره های القایی باید از قراضه با کم ترین آلودگی و مواد اکسیدی استفاده نمود که گاهی این مساله دشوار و باعث افزایش هزینه های اولیه می گردد.

همچنین استفاده از آهن اسفنجی به عنوان شارژ کمکی برای تنظیم خواص شیمیایی در این کوره ها موجب بهبود عملکرد کوره های ذوب القایی شده است. با استفاده از آهن اسفنجی میزان کربن مذاب براساس مشخصات خواسته شده قابل تنظیم بوده و باتوجه به اینکه در آهن اسفنجی عناصر و فلزات مضر وجود ندارد ، فلز مذاب به دست آمده تمیز و عاری از عناصر مضر خواهد بود.

قبل از ورود مواد فلزی به کوره آنالیز شیمیایی این مواد جهت دستیابی به مشخصات نهایی محصول ، به دقت کنترل می شود. اگر میزان کربن ، گوگرد و فسفر در شارژ فلزی بالا باشد ، مقدار بیش تری آهن اسفنجی به کوره شارژ می شود ، پس از اتمام ۸۰ درصد ذوب ، نمونه ای از کوره گرفته می شود و در صورتی که مقدار کربن همچنان بالا باشد ، مجدداً نرمه آهن اسفنجی به کوره شارژ می شود.

از طرفی باید در نظر داشت به دلیل این که آهن اسفنجی دارای تخلخل می باشد و همین عامل باعث مقاومت در عبور جریان می شود ، جهت جلوگیری از مصرف بالای برق ، حداکثر می توان ۶۰ - ۵۰ درصد شارژ فلزی را به آهن اسفنجی اختصاص داد.

تحقیقات جدید و توسعه در تامین نیرو با فرکانس های متغیر ، بهبود در پوشش های نسوز ، طراحی القاگر با توان بالا ، بازیافت حرارت کوره و استفاده از سیستم های کامپیوتری و اتوماسیون موجب بهبود راندمان کوره های ذوب القایی و تمایل به استفاده از آن ها شده اند. علاوه بر این ، در سال های اخیر با تکنولوژی کوره های القایی دو قلو که دارای دو بوتنه هستند ، امکان افزایش راندمان و سرعت تولید مذاب فراهم شده است.

فرآیند ذوب القایی روشی است که به وسیله جریان های گردابی القا شده توسط میدان الکترومغناطیسی متغیر ، در ماده هادی الکتریسیته (معمولاً فلزات) حرارت ایجاد نموده و فرآیند ذوب انجام می شود. اساس کار این روش مشابه ترانسفورماتور است.

## قسمت های مختلف کوره القایی

به طور کلی قسمت های مختلف کوره های القایی عبارتند از:

### الف) بوته

حاوی اسکلت فلزی کوره ، کویل ، جداره نسوز ، هسته ترانسفورمر ، بوغ ها (yokos) پلات فرم (سکو)

### ب) تاسیسات الکتریکی

شامل دژنکتور ، یونر ، ترانسفورماتور ، مبدل فرکانس ، خازن ها ، چوک ها ، کلید های کولر ها ، مکنده ها و تابلو های کنترل

### ج) تاسیسات خنک کن

تاسیسات الکتریکی کوره القایی مثل ترانسفورماتور ، چوک ، خازن ها ، کلید های فشار قوی و تابلوی مدار فرمان در محدوده ی زمانی خاصی می توانند کار کنند و اگر از حد معینی گرم تر شوند باعث ایجاد مشکلاتی می گردند ، لذا این تاسیسات باید خنک گردند ، خنک کردن تاسیسات الکتریکی می تواند با فن ارکاندیشن یا کولر گازی صورت گیرد.

کویل و بدنه کوره در کوره های بوته ای و کویل ، پوسته ی اینداکتور ، پوسته خنک کن و گلوئی کوره در کوره های کانال دار نیز باید خنک شوند این قسمت ها عموماً با آب خنک می گردند (برخی از کوره های کوچک کانال دار به گونه ای طراحی می شوند که تمام قسمت های ذکر شده یا قسمتی از آن با هوا خنک می شود) و تاسیسات مخصوصی شامل مبدل های حرارتی ، پمپ ، برج خنک کن و غیره را دارا می باشد و معمولاً مقصود از تاسیسات خنک کن همین قسمت می باشد

### د) تاسیسات حرکت بوته

برای کوره های بزرگ هیدرولیکی و برای کوره های کوچک مکانیکی یا هیدرولیکی است و شامل جک های هیدرولیک ، پمپ هیدرولیک ، مخزن روغن ، شیرها ، دیگر تاسیسات هیدرولیک و میز فرمان هیدرولیک یا سیستم های چرخ دنده ای دستی یا چرخ دنده ای موتور دار.

### ه) محل استقرار کوره

شامل اتاق محل استقرار بوته (Furnace Pit) ، فونداسیون ، چاله تخلیه اضطراری ، محل استقرار تاسیسات الکتریکی ، هیدرولیکی و خنک کن و محل استقرار تابلو های مدار فرمان ، تابلوی کنترل مدار آب و میز فرمان هیدرولیک می باشد.

### و) تاسیسات تهویه

تاسیسات دوده و غبارگیر ، به خصوص در کوره های بوته ای بزرگ را نیز می توان از تاسیسات مهم به حساب آورد.

هر کدام از شش قسمت فوق مسائل و برنامه تعمیر و نگهداری مخصوص دارد که این برنامه بسته به نوع کوره ، کانال دار ، بوته ای (ظرفیت بوته ، فرکانس کوره) خطی ، متوسط ، بالا ، سیستم خنک کن کوره ، سیستم حرکت بوته و نوع جداره ی نسوز تفاوت هایی داشته اما در اصول همسانی زیاد وجود دارد.

## عوامل موثر در کار کوره های القایی

### عوامل موثر در کار کوره

مهم ترین عوامل موثر در بالا بودن راندمان کاری کوره عبارت است از: اجرای دقیق برنامه تعمیر و نگهداری کوره ، شارژ مناسب ، اپراتوری صحیح ، وضعیت جداره نسوز.

### اجرای دقیق برنامه تعمیر و نگهداری کوره

کوره های القایی بسته به نوع آن (کانال دار ، بدون هسته) ، ظرفیت آن ، مقدار فرکانس ، نوع سیستم خنک کن ، سیستم حرکت بوته و نوع جداره نسوز برنامه تعمیر و نگهداری مخصوص به خود دارد و باید به دقت اجرا شود.

### شارژ مناسب

کوره های بدون هسته ذوب القایی با فرکانس پایین تر از ۲۵۰ هرتز تمام ذوب خود را تخلیه نمی کنند تا زمان شارژ بعدی کوتاه تر شود ، به علت وجود ذوب در این کوره ها مواد شارژ باید عاری از روغن و رطوبت باشد در غیر این صورت خطر پاشش ذوب و قطعات شارژ جامد به بیرون از کوره وجود دارد ضمناً وجود روغن و دیگر مواد آلی باعث ایجاد دود در کارگاه می شود سرد بودن سرباره نسبت به ذوب در کوره های القایی ضمن اینکه این کوره ها را در امر احیای مداد اکسیدی ناتوان می کنند باعث می شود این کوره ها نتوانند مقدار زیاد مواد اکسیدی ، خاک و سرباره را تحمل کنند و وجود مقادیر زیاد مواد غیر فلزی غیر آلی باعث ایجاد پل بالای ذوب به خصوص هنگام سرد بودن ذوب می شود که خود می تواند مشکلاتی را در کار کوره ایجاد کند. ابعاد نامناسب شارژ نیز می تواند هم مستقیماً به جداره صدمه بزند و هم در ایجاد پل روی ذوب کمک نماید.

### اپراتوری صحیح

چرخش و تلاطم مذاب در کوره های القایی بدون هسته به خصوص با فرکانس های پایین تر باعث می شود تهیه ذوب با آنالیز معین و همگن و درجه حرارت مشخص و یکنواخت ، ساده تر باشد. با این حال برای بالا رفتن راندمان و سلامت کوره اصولی در کار با کوره باید رعایت کرد ، انتخاب شارژ مناسب ، دمای صحیح ذوب در مراحل مختلف فرآیند تهیه ذوب ، شارژ کوره به روش صحیح و مقادیر معین ، توجه به تابلو های مدار فرمان و ابزار و وسایل هشدار دهنده و توجه به مسائل ایمنی از جمله وظایفی است که اپراتور کوره (کوره دار) هنگام کار با کوره باید رعایت کند ، اپراتوری کوره با توجه به نوع کوره ، ظرفیت آن ، نوع ذوب تهیه شده ، نوع شارژ جامد و پارامتر های دیگر تفاوت می کند.

برنامه تعمیر و نگهداری کوره ، انتخاب شارژ مناسب و اپراتوری صحیح از جمله دستور العمل هایی است که معمولاً فروشنده یا سازنده کوره همراه کوره ارسال می کند و می بایست جهت سلامت و بالا بودن راندمان کوره به آن ها عمل کرد.

### وضعیت جداره نسوز

جداره کوره های القایی می تواند در اثر سایش مکانیکی به وسیله ذوب و شارژ جامد ، خوردگی شیمیایی به وسیله سرباره ، ذوب و آتمسفر کوره شوک های مکانیکی و حرارتی کندگی و انهدام در اثر برخورد و تصادم با شارژ جامد ، شیوه شارژ



نامناسب و غیر متناسب بودن ابعاد و کیفیت شارژ ، درجه حرارت بیش از اندازه بالای ذوب آسیب دیده یا نازک گردد (نصب و پخت نا صحیح جداره و هرگونه انفجار به هر دلیلی داخل کوره نیز می تواند باعث انهدام یا آسیب به جداره نسوز شود) و یا در اثر رسوب مواد غیر فلزی ، غیر آلی بر جداره ضخیم گردد که در هر دو مورد برای کوره مضر می باشد مورد اول (نازک شدن جداره) گر چه در مرحله اول باعث بالا رفتن توان گرمایی کوره می شود ولی در مجموع عمر جداره پایین آورده و گاهی باعث توقف اضافی می گردد. مورد دوم (ضخیم شدن جداره) باعث پایین آمدن راندمان کوره شده و گاهی در شارژ کردن نیز اختلال ایجاد می کند ، برای شناخت علل ضخیم شدن جداره و نازک شدن جداره بر اثر فعل و انفعالات شیمیایی باید ترمومتالورژی ذوب ، سرباره ، آتمسفر کوره و آستر نسوز را شناخت. به عنوان مثال وجود اکسید های قلیایی در ذوب الومینیم در کوره های با جداره آلومینیایی باعث اکسید شدن آلومینیم مذاب و تشکیل آلومینا و رسوب آن بر جداره و نتیجه ضخیم شدن جداره می گردد در صورتی که وجود اکسید های قلیایی در کوره های با جداره سلیسی باعث خوردگی شدید آستر نسوز می گردد.

### کنترل خوردگی و سایش

جداره کوره های بوته ای بسته به شرایط کاری ، نوع ذوب ، نوع جداره از نظر شیمیایی و فیزیکی ، نحوه نصب ، رطوبت گیری و پخت آستر ، نوع و کیفیت شارژ جامد و نحوه شارژ می تواند هنگام کار ضخیم گردد یا اینکه در اثر سایش ، فرسایش ، خوردگی شیمیایی نازک گردد ، نازک شدن به مفهوم نزدیک شدن جداره و نزدیک شدن ذوب به کوئل فوران مغناطیسی جذب شده توسط کوئل افزایش پیدا کرده نتیجتاً آمپری که توسط کوئل در یک ولتاژ معین کشیده می شود با یک حجم ذوب معین (درجه حرارت ذوب تاثیر جزئی بر آمپر کشیده شده دارد ، به هر حال دقیق تر است که درجه حرارت هم تقریباً جهت مقایسه یکسان باشد در کوره هایی که فرکانس متغیر است مقایسه باید در یک فرکانس مشخص صورت گیرد) در حالت جداره ی نو با حالت جداره خورده شده مقایسه گردد افزایش آمپر مشاهده خواهد شد. با اضافه شدن مقدار آمپر کشیده شده که بیانگر جذب بیش تر فوران مغناطیسی توسط ذوب است خاصیت سلفی (Inductive) مدار بیش تر می شود و در نتیجه ضریب توان  $\cos\alpha$  از یک به سمت خاصیت سلفی منحرف می شود برای یک کردن ضریب توان نیاز به مقدار خازن بیش تری در مدار می باشد. بنابراین بهترین راه کنترل خوردگی جداره زمانی که ذوب داخل کوره می باشد ، مشاهده مقدار جریان الکتریکی کشیده شده توسط کوئل ، ضریب توان و مقدار خازن های داخل مدار و مقایسه آن ها با حالت جداره نو می باشد. عکس مطالب فوق در هنگامی است که جداره ضخیم گردد. بدین معنا که با ضخیم شدن جداره ذوب از کوئل دور شده و در نتیجه حجم فوران مغناطیسی جذب شده توسط ذوب کاهش می یابد و بالتبع جریان کشیده شده توسط کوئل کم می شود و در نتیجه مدار خازنی capacitive می شود و ضریب توان از یک به سمت خازنی منحرف می گردد و برای یک کردن  $\cos\alpha$  نیاز است مقداری خازن از مدار خارج شود. بنابراین با کنترل مداوم آمپر کشیده شده توسط کوئل ضریب توان  $\cos\alpha$  و مقدار خازن در مدار برای تصحیح ضریب توان و مقایسه آن با حالت جداره نو می توان دریافت که جداره نازک شده است و یا ضخیم. مقادیر الکتریکی فوق را می توان در رابطه زیر خلاصه کرد:

R مقاومت حمام مذاب (اهم)

V ولتاژ کوره (ولت)

P توان کوره (وات)

مقاومت حمامی زمانی که از مذاب پر است و درجه حرارت ذوب نزدیک به درجه حرارت استفاده می باشد و ولتاژ کوره در یکی از ولتاژهای بالا قرار دارد اندازه گیری می شود ، این اندازه گیری به طور مداوم از زمانی که کوره نو کوبی شده است انجام می شود. کاهش مقاومت حمام به معنای نازک شدن جداره و نزدیک شدن ذوب به کوئل است و افزایش مقاومت حمام به مفهوم ضخیم شدن جداره و دور شدن ذوب از کوئل می باشد. معمولاً اگر مقاومت حمام ۲۰ درصد کاهش یافت به مفهوم این است که جداره نسوز نیاز به تعمیر دارد.

این نکته را باید یاد آور ساخت که با نازک یا ضخیم شدن جداره بالانس فاز کوره هم غیر متعادل شده و در نتیجه مقدار خازن در مدار برای متعادل کردن فاز ها نیز تغییر می کند منتها جهت کنترل خوردگی یا ضخیم شدن جداره نیاز چندانی به کنترل بالانس فاز نمی باشد. از طرفی با خورده شدن جداره یا ضخیم شدن آن مقدار حرارت منتقل شده به کوئل تغییر یافته و در نتیجه گرمای آب عبوری از داخل کوئل تفاوت می کند و اختلاف دمای آب ورودی با آب خروجی تغییر می کند. با نزدیک شدن ذوب به کوئل ، اختلاف دمای ورودی و خروجی افزایش و با دور شدن آب عوامل مهم دیگری نیز موثر هستند این پارامتر به تنهایی نمی تواند معیار سنجش قرار گیرد و در جوار پارامتر های الکتریکی فوق اشاره می توان از آن بهره گرفت. در برخی از کارخانجات این مفهوم اشتباه به وجود آمده است که نزدیک شدن ذوب به کوئل را اهم متر کوره نشان می دهد ، در صورتی که اهم متر مقاومت الکتریکی جداره را تعیین می نماید و جداره سالم حتی با ضخامت معادل کمتر از ضخامت اصلی دارای مقاومت الکتریکی به اندازه کافی بالایی است که اهم متر نتواند تشخیص بدهد اگر جداره خیس باشد یا در اثر نفوذ ذوب به جداره ، اتصال کوتاه به وجود آمده باشد اهم متر وضعیت را نشان می دهد زمانی که اهم متر اعلام خطر می نماید (در بعضی کوره ها اهم متر مقاومت الکتریکی تمام قسمت های تاسیسات الکتریکی کوره و بوته را همزمان کنترل می کند در این حالت باید اول مشخص گردد که اتصال کوتاه در بوته است یا تاسیسات الکتریکی و بعد تصمیمات لازم اتخاذ گردد). چه از خیس شدن جداره و چه از اتصال کوتاه باید بلافاصله کوره تخلیه گردد و در جهت رفع عیب تلاش شود. یاد آوری این نکته ضروری است که در زمان پخت جداره مقاومت الکتریکی جداره به خاطر وجود مختصری رطوبت در جداره پایین است که این مورد غیر از موارد یاد شده در فوق می باشد بنابراین مشخص است که اهم متر خوردگی جداره را نشان نخواهد داد و هنگامی که اهم متر مشخص می کند مقاومت الکتریکی جداره پایین آمده است به مفهوم اعلام خطر است و باید ذوب کوره بلافاصله تخلیه گردد. پس مقاومت الکتریکی جداره جهت کنترل سلامت جداره باید مرتب و مداوم بازرسی گردد ولی جهت کنترل نازک یا ضخیم شدن جداره در هنگام پر بودن کوره از ذوب باید از ضریب توان  $\cos\alpha$  مدار ، آمپر کشیده شده توسط کوئل و مقدار خازن تصحیح  $\cos\alpha$  بهره جست ، مشخص است در صورتی که خوردگی جداره موضعی باشد یا در ناحیه ای خوردگی و در ناحیه ای دیگر افزایش ضخامت جداره به وجود آمده باشد نمی توان از طریق فوق الذکر کنترل دقیقی بر وضعیت جداره داشت ، چرا که خوردگی موضعی کوچک گر چه می تواند خطر آفرین باشد اما تاثیر چندانی بر آمپر کشیده شده توسط کوئل ندارد و در صورتی که خوردگی در یک ناحیه با ضخیم شدن در ناحیه دیگر توأم باشد به علت خنثی کردن اثر یکدیگر باعث گمراهی کنترل کننده خواهد شد. بنابراین باید جهت کنترل دقیق تر وضعیت جداره از روش های دیگری هم استفاده کرد در کوره های با فرکانس بالاتر از ۲۵۰ هرتز چون ذوب کوره پس از آماده شدن کاملاً تخلیه می گردد می توان از مشاهده ی مستقیم نیز استفاده کرد و خوردگی های موضعی را تشخیص داد در کوره های با فرکانس خط و فرکانس سه برابر ۱۵۰ یا ۱۸۰ هرتز چون ذوب کوره کاملاً تخلیه نمی گردد ، مشاهده تمام کوره امکان ندارد اما قسمت های فوقانی را می توان مشاهده کرد تا اینجا باید خاطر نشان ساخت که کنترل مطمئن و کامل تر باید در فواصلی که کوره تخلیه می گردد و جداره سرد می شود مثل تعطیلات پایان هفته، ابعاد بوته با دقت اندازه گیری گردد و از مقایسه آن با

حالت نو ضخامت جداره به دست آید ، بهترین راه اندازه گیری ضخامت جداره از طریق اندازه گیری شعاع بوته در نواحی مختلف می باشد که با مقایسه با شعاع بوته در حالت نو می توان ضخامت جداره را در آن ناحیه به دست آورد و راجع به تعمیر بوته تصمیم گرفت ، برخی از تعمیر کاران کوره قطر بوته را اندازه می گیرند که در مقایسه با اندازه گیری شعاع دارای دقت کمتری است ، به عنوان مثال اگر حد خوردگی چهار سانتی متر باشد و قطر اندازه گیری شده شش سانتی متر افزایش نسبت به حالت نو نشان دهد نمی توان دریافت که این ۶ سانتی متر خوردگی به طور مساوی به دو طرف کوره تعلق داشته باشد یعنی از هر طرف جداره سه سانتی متر خورده باشد چون این احتمال وجود دارد که مثلا از یک طرف پنج سانتی متر (یک سانتی متر بیش از حد مجاز) و از طرف دیگر یک سانتی متر (سه سانتی متر کم تر از حد مجاز) خورده شده باشد. بنابراین وقتی فرصت اندازه گیری به وجود می آید بهتر است شعاع بوته اندازه گیری شود تا اندازه بوته در هر ناحیه به دقت مشخص گردد. همراه با اندازه گیری شعاع یا قطر بوته در ارتفاع های مختلف بوته باید ارتفاع بوته را نیز اندازه گرفت تا اگر از حد مجاز فراتر رفته باشد معلوم گردد برای اندازه گیری شعاع بوته یک شاقول در محل محور بوته آویزان می گردد و فاصله ی آن با جداره در نواحی مختلف اندازه گرفته می شود و در جداول مخصوص یادداشت می گردد. قسمت بالای کوره به خاطر برخورد شارژ جامد دائم در معرض صدمه قرار دارد این قسمت نیز از طریق اندازه گیری و مشاهده مستقیم مرتبا کنترل می گردد.

## ریخته گری گریز از مرکز

در ریخته گری گریز از مرکز ، برای پر کردن قالب ، علاوه بر نیروی ثقل از نیروی گریز از مرکز نیز استفاده می گردد. در این روش سطح بیرونی قطعه توسط سطح داخلی قالب شکل گرفته ولی سطح داخلی قطعه به چند صورت امکان شکل گیری دارد که خود سبب یک تقسیم بندی در روش ها گردیده و به طور کلی در سه دسته زیر طبقه بندی شده اند:

۱. ریخته گری گریز از مرکز حقیقی

۲. ریخته گری نیمه گریز از مرکز

۳. ریخته گری تحت نیروی گریز از مرکز یا قطعات گریز از مرکز شده

### ریخته گری گریز از مرکز حقیقی

محور ریخته گری بر محور دوران قطعه ، منطبق بوده و سطح داخلی بدون حضور ماهیچه و به واسطه نیروی گریز از مرکز شکل می گیرد. در این روش محور دوران در یکی از سه حالت افقی ، عمودی و مایل می باشد که ابعاد و شکل قطعه تعیین کننده حالت صحیح آن خواهد بود. این روش برای قطعات استوانه ای استفاده می شود.

### ریخته گری شبه گریز از مرکز

در این روش قالب ها از جنس ماسه ای می باشند که درجه ها روی یک صفحه دوار قرار می گیرند که برای ریخته گری قطعات دیسکی شکل کاربرد دارند.

### ریخته گری قطعات گریز از مرکز شده

قالب از جنس ماسه می باشد صفحات به شکل متقارن در اطراف سیستم راهگای قرار می گیرند که مذاب تحت نیروی گریز از مرکز به داخل قالب ها هدایت می شود.

نکته قابل توجه در این روش این است که اگر این قالب ها غیر متقارن باشند یک طرف آن سنگین و طرف دیگر سبک شده و باعث برهم خوردن بالانس مکانیکی دستگاه می شود و درجه به بیرون پرت می شود.

در این روش در قطعات استوانه ای هر چه فلز وزن مخصوص بیشتری داشته باشد نیروی گریز از مرکز بیش تر می شود که این باعث بالا آمدن ناخالصی ها می شود و همچنین چون جهت سرد شدن مذاب از سطح خارجی به داخلی می باشد حفرات انقباضی به سطح داخلی آمده و با یک بار ماشین کاری سطح داخلی لوله ها می توانیم لوله های سالمی داشته باشیم ولی از نظر این که باعث جدا شدن عناصر آلیاژی با وزن مخصوص متفاوت و فازهای با وزن مخصوص کم می شود عیب دارند. هر چه سرعت دوران بیش تر باشد نیروی گریز از مرکز بیش تر می شود و فاصله بین جدار قالب و قطعه کم تر شده و جدا شدن قطعه مشکل تر می شود ولی کیفیت ابعادی و خواص مکانیکی آن بیش تر می شود

آلیاژهایی که در این روش ریخته گری می شوند

### چدن

لوله های مورد استفاده در آب و فاضلاب و بوش های چدنی.

### فولاد ها

ساده کربنی ، کم آلیاژ ، پر آلیاژ

### مزایای تولید قطعات به روش گریز از مرکز

۱. امکان تولید قطعات از جنس آلیاژ های آهنی و غیر آهنی
  ۲. امکان ریختن فلزات با وزن مخصوص یا دانسیته بالا
  ۳. بالا بودن راندمان ریختگی در حدود ۹۵ درصد برای روش حقیقی
  ۴. بالا بودن خواص مکانیکی
  ۵. سرعت تولید بالا
- و با توجه به موارد سه و پنج این روش کاملا اقتصادی است.

### معایب این روش

۱. محدودیت شکل قطعات
  ۲. نیاز داشتن به عملیات حرارتی جهت تنش زدایی
- ### عیوب در قطعات تولیدی به روش گریز از مرکز

### جدایش

مهم ترین عیب این روش می باشد که با افزایش سرعت سرد کردن می توانیم این عیب را بر طرف کنیم.

### نیامد کردن

که با افزایش دمای ذوب ، ایجاد سرعت دوران یکنواخت و افزایش سیالیت می توان برطرف نمود.

### حباب های گازی

با خشک کردن کامل پوشش می توان بر طرف نمود

## ترک ها

### ترک های طولی

که در اثر سرد بودن بار و یا کاهش سرعت دوران قالب به وجود می آید و با افزایش دمای مذاب می توانیم آن را بر طرف کنیم.

### ترک های عرضی

به علت عدم انقباض آزاد تحت تاثیر سرعت سرد شدن بالا ایجاد می شود و با کاهش سرعت سرد شدن رفع می شود.

### شرایط لازم برای تولید قطعات سالم

۱. پخش سریع و یکنواخت مذاب در داخل قالب
۲. انجماد جهت دار از سمت پوسته قالب به سمت حفره داخلی قالب
۳. تجمع ناخالصی ها و حفرات گازی و انقباضی در پوسته داخلی لوله تولیدی

### پارامتر های تکنولوژی قالب

#### سرعت بار ریزی

سرعت باید بهینه باشد یعنی حداقل سرعتی باشد که منجر به تولید قطعات سالم می شود که با تجربه به دست می آید. اگر کم تر باشد باعث پر نشدن، سرد جوشی و ... می شود و اگر بیش تر باشد زمان انجماد بیش تر است و باعث ایجاد ترک های طولی می شود.

#### دمای بارریزی

فوق ذوب بستگی به شکل و ابعاد و جنس قطعه دارد. افزایش فوق ذوب باعث کم کردن قدرت تبریدی قالب و افزایش زمان انجماد و ایجاد پدیده جدایش و درشت دانگی می شود و نیز می تواند باعث ریزش مذاب در اثر سرد نشدن آن در سطح قالب شود و نیز باعث لغزش مذاب به دلیل منجمد نشدن مذاب در هنگام رسیدن به هم می شود.

#### دمای قالب

افزایش دما باعث انبساط حرارتی بیش تر قالب می شود و باعث افزایش فاصله هوایی و نیز بیش تر شدن زمان انجماد. کاهش دمای قالب باعث کاهش میزان انبساط شده و نیرو های انقباضی به قطعه می شود و ترک ایجاد می شود دمای بهینه بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

در این قسمت به صورت خلاصه به عیوب دو نوع از انواع قطعاتی که در این روش ریخته می شود می پردازیم:

## ۲. عیوب پیستون های چدنی

هر دوی این قطعات به روش حقیقی و در حالت افقی ریخته گری می شوند.

### عیوب لوله های چدنی

اغلب عیوبی که در تهیه لوله ها از طریق ریخته گری گریز از مرکز به وجود می آیند همان هایی هستند که در ریخته گری ثقلی ایجاد می شوند و اغلب تاثیر مشترک چند عامل می باشند. در این جا به معرفی مهم ترین عیوب ایجاد شده در فرایند لوله ریزی لوله های چدنی پرداخته و به طور جمال علت یا علل شناخته شده ، توضیح داده می شود.

### عیب ترک

الف: ترک گرم یا پارگی یکی از نقایص این روش است. بعد از ورود مذاب به قالب و زمانی که اولین لایه منجمد می شود ، مذابی در پشت این پوسته منجمد شده قرار دارد و به واسطه حرکت دورانی بر آن فشار وارد می کند. این فشار در پوسته استوانه ای شکل در حال انقباض ، تنش های محیطی ایجاد می کند. در همین حال در ضخامت منجمد شده قطعه یک انقباض و در قالب به سبب افزایش درجه حرارت آن ، یک انبساط حرارتی به وجود می آید که سبب شکل گیری یک فاصله هوایی گشته و قطعه از حمایت سرتاسری قالب محروم می ماند. در این زمان اگر تغییر شکل ناشی از تنش محیطی فراتر از مقاومت گسیختگی فلز در آن درجه حرارت گردد ، پوسته دچار ترک طولی می گردد. البته در صورت پر شدن این ترک با مذاب نیز عیب به نام عیب سرد جوشی در سطح تماس ایجاد می گردد.

### روش های جلوگیری از بروز این نقص عبارتند از

کاهش درجه حرارت ریخته گری ، کاهش سرعت ریخته گری ، افزایش درجه حرارت پیش گرم قالب ، به کارگیری سرعت دورانی کم تر در شروع ریخته گری و افزایش ضخامت قالب با استفاده از لایه پوشش عایق در سطح داخلی قالب.

ب: ترک های عرضی از دیگر نقایص ایجاد شده در لوله می باشد که می تواند در نتیجه تمرکز شدید تنش های حرارتی و یا به خاطر انبساط گرافیت و گیر کردن لوله در قالب ایجاد شود.

### عیب چروک خوردن سطح لوله ها

چروک یکی دیگر از معایب ایجاد شده در لوله هاست. در سطح خارجی لوله چروکیدگی هایی ایجاد شده که عمدتاً در جهت عرضی می باشد. این عیب به خصوص در لوله های چدنی نشکن ، با افزایش کربن معادل خصوصاً در نتیجه افزایش سیلیسیم تشدید می گردد و بدین صورت توجیه می گردد که اگر آزاد شدن گرافیت در پوسته جامد اولیه زیاد باشد ، موجب انبساط این پوسته می گردد و چون راهی برای انبساط لوله به دلیل چسبندگی به قالب (فلزی) وجود ندارد ، نیروی فشار بالایی در طول انباشته شده که نهایتاً در مناطق خاصی موجب انحناء و خم شدن پوسته اولیه می گردد.

## روش تولید بوش سیلندر اتومبیل

بوش سیلندر از جمله قطعات چدنی است که نسبت به ساختار زمینه بسیار حساس است و ویژگی های ساختاری قطعه تعیین کننده ی عمر و دوام و سلامت موتور اتومبیل می باشد. برای تولید این قطعه در صنعت از دو روش استفاده می شود. روش نخست ، ریخته گری در ماسه به روش سیلیکات سدیم است. بوشی که از این روش تولید می شود دارای استحکام پایینی بوده و به علت رطوبت موجود در سیستم ، عیوب انقباضی و گازی فراوان در قطعه مشاهده می شود.

روش صنعتی و جدید برای تولید بوش سیلندر ریخته گری در قالب فلزی به روش گریز از مرکز است. در این روش مذاب به سرعت در قالبی که در حال گردش است ، ریخته شده ، شکل می گیرد. استفاده از روش های گریز از مرکز برای تولید بوش چدنی به جای روش ریخته گری در ماسه دارای مزایای زیر است:

۱. حداقل عیوب گازی و انقباضی به همراه ضریب تراکم جرمی بالا
۲. حذف سیستم راه گاهی و تغذیه و مشکلات موجود در این سیستم ها
۳. حذف سیستم ماهیچه گذاری و مشکلات موجود در این سیستم
۴. تولید بوش با حداقل ضخامت ممکن برای انجام مراحل ماشین کاری
۵. استحکام و خواص مکانیکی بالاتر نسبت به سیستم ریخته گری در ماسه
۶. افزایش سرعت تولید

گرچه استفاده از روش های گریز از مرکز در تولید بوش از مزایای زیادی برخوردار است ، ولی باید توجه داشت که به دلیل شرایط خاصی که به لحاظ استفاده از قالب فلزی بر نحوه ی انجماد حاکم است ، باعث می شود تا کنترل ساختار متالورژیکی قطعه با مشکلات عدیده ای رو به رو باشد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. جدایش فاز ها در اثر نیروی گریز از مرکز
۲. تغییر ساختار متالورژیکی و تشکیل مناطق کاربیدی

در فرآیند های متداول ریخته گری سیلندر ، دستیابی به ساختاری مناسب در قسمت سیلندر با پیستون که سایش و حرارت بالایی ایجاد می کند عملاً غیر ممکن است. به منظور بالا بردن مقاومت به سایش و ضریب هدایت حرارتی از به کار بردن قطعه ای استوانه ای شکل (بوش سیلندر) که به طور جداگانه با ساختار مطلوب ریخته گری می شود ، در آن محل استفاده می کنند. بوش سیلندر را معمولاً از جنس چدن های خاکستری به دلیل دارا بودن قابلیت ریخته گری خوب و خواص فیزیکی و مکانیکی ویژه تهیه می کنند. نوع و اندازه ی گرافیت ها و فاز های تشکیل دهنده ی زمینه ی ریز ساختار پارامتر های اصلی تعیین کننده ی خواص چدن های خاکستری هستند.

گرافیت نوع A (گرافیت لایه ای نازک با توزیع یکنواخت) با اندازه ی متوسط از نظر مقاومت به سایش عالی هستند. در چدن های خاکستری با گرافیتی نوع A ، ورنه گرافیت به شکل دایره ای و بیضی دایره ای در نظر گرفته می شود. همچنین این نوع



گرافیت ها باعث هدایت حرارتی و کنترل دمای سطوح مرتبط با منبع گرما می شوند. گرافیت های ورقه ای ضمن داشتن قابلیت ماشین کاری خوب ، شرایط عالی در برابر سایش نیز دارند. برای افزایش مقاومت به سایش چدن های خاکستری می توان از ایجاد فازهای مختلف و مناسب در ریز ساختار بهره گرفت. به طور کلی سختی چدن خاکستری با زمینه ی کاملاً پرلیتی HB ۱۸۰ است. با افزودن مقداری فسفر حدود ۰.۵٪ به چدن فاز استریت با سختی حدود HB ۴۰۰ در اطراف سلول های یوتکتیک تشکیل می گردد. این فاز در برابر سایش بسیار مقاوم می باشد.

با توجه به مصرف گسترده ی بوش ها و کاربرد حساس آن ها در سیلندر تولید آن ها با مشخصات مناسب ضروری می باشد لیکن با توجه به طبیعت انجماد جهت دار در ریخته گری گریز از مرکز ، تولید چنین محصولاتی با مشکلاتی رو به رو خواهد بود. لذا هدف اصلی تولید چدن خاکستری با داشتن گرافیت های نوع A ضمن داشتن ریز ساختاری شامل حدود ۹۵٪ پرلیت و حدود ۵٪ فسفید آهن می باشد.

### قالب های مورد استفاده در روش ریخته گری گریز از مرکز افقی

بسته به شرایط کاری ، سرعت تولید ، جنس آلیاژ ریخته گری به دو دسته مصرف شدنی و دائمی تقسیم بندی شده است ، که قالب های مورد استفاده در ریخته گری گریز از مرکز لوله های چدنی مورد نظر فولاد دائمی است.

### جنس فولاد های قالب گریز از مرکز

فولاد های قالب ، از نوع فولاد های گرم کار بوده که جهت تهیه لوله های چدنی و همچنین قالب های تزریقی پلاستیک در صنعت مورد توجه می باشند. در حین کار سطح داخلی آن ها تحت درجه حرارت های بالا و بار های مکانیکی نسبتاً بالا قرار دارد. فولاد های قالب در حین کار تحت تاثیر عواملی قرار می گیرند که بر طول عمر آن ها تاثیر دارد. این عوامل عبارتند از:

۱. سیکل تغییرات دما با دامنه  $230^{\circ}\text{C}$  تا  $70^{\circ}\text{C}$  در سطح داخلی قالب (زمان یک دوره تغییرات دما تقریباً ۲۱۰ ثانیه است).

۲. نیروی گریز از مرکز بالا در اثر چرخش قالب با سرعت حدود ۹۵۰ rpm حاصل می شود.

۳. تنش های بالا در نزدیکی سطح داخلی (حدود ۲۰۰ MPa فشاری ۷۸۰ MPa کششی)

۴. خوردگی حاصل از گاز ها و هوا که از انجام واکنش ها حاصل می شود.

۵. ترک های خراش که در هنگام بیرون کشیدن لوله ها از قالب در جهت محور قالب ایجاد می شوند.

مشخصات متالورژی و مکانیکی فولاد قالب					
سختی HB	درصد زیاد طول	استحکام تسلیم ( $\text{W/mm}^2$ )	استحکام کششی ( $\text{N/mm}^2$ )	چقرمگی شکست KIC	
۲۴۰ - ۲۰۰	۱۷	۷۰۰	۷۰۰ - ۸۵۰	۲۶۰۰	فولاد ۲۱
۲۴۰ - ۲۰۰	۱۷	۷۰۰	۷۵۰ - ۹۰۰	۲۴۰۰	فولاد ۳۴

## ضخامت قطعه و دمای جداره ی قالب

به طور کلی با کاهش ضخامت قطعه سرعت انتقال حرارت از مذاب به جداره ی قالب افزایش می یابد و در نتیجه بر سرعت انجماد قطعه افزوده می شود. این امر شرایط را برای ایجاد یوتکتیک در ساختار قطعه فراهم کرده و باعث کاهش در میزان تحت انجماد می شود. ولی باید توجه داشت که افزایش بیش از حد دمای جداره ی قالب ممکن است به تغییراتی در ساختار انجماد و ایجاد انجماد معکوس ساختار قطعه شود.

## تصاویر





## منابع و مأخذ

1. <http://www.mosaiebi.com/viewtopic.php?style=3&f=2&t=338>
2. <http://kurdmetal.blogfa.com/post-2.aspx>
3. [http://www.azarceram.com/fa/index.php?option=com\\_content&task=view&id=52&Itemid=47](http://www.azarceram.com/fa/index.php?option=com_content&task=view&id=52&Itemid=47)
4. <http://www.iran-eng.com/showthread.php?t=120708&highlight=%D9%83%D9%88%D8%B1%D9%87+%D9%87%D8%A7%D9%8A+%D8%B1%D9%8A%D8%AE%D8%AA%D9%87+%DA%AF%D8%B1%D9%8A>
5. <http://metallurgistic.blogspot.com/2010/06/1.html>