راه کار های صرفه جویی انرژی

در صنعت ریخته گری

energyenergy.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : راهکارهای بدون هزینه بهینه سازی انرژی در صنعت ریخته‌گری ۶

۱-۱. بررسی ضریب بار ۶

۱-۲. استقرار استاندارد مدیریت انرژی ۶

۱-۳. اندازه گیری و ارزیابی صحیح مصرف ویژه ۷

۱-۴. ارتقاء مهارتهای کارکنان صنایع ریخته‌گری از طریق آموزش ۸

۱-۵. برنامه ریزی جهت افزایش راندمان فرآیند ۸

۱-۵-۱. کاهش تلفات ذوب ۹

۱-۵-۲. کاهش تلفات ناشی از پاشش و سرریز مذاب ۱۱

۱-۵-۳. کاهش تلفات سیستم راهگاه و تغذیه ۱۳

۱-۵-۴. کاهش ضایعات و قطعات برگشتی ۱۴

۱-۶. برنامه‌ریزی جهت افزایش راندمان تولید ۱۵

۱-۶-۱. کاهش تلفات ناشی از زمان توقف ۱۵

۱-۶-۲. کاهش تلفات ناشی از سرعت کم قالب‌گیری ۱۷

۱-۶-۳. کاهش تلفات ناشی از قالب‌های معیوب (ضایعات قالب) ۱۸

۱-۶-۴. برنامه‌ریزی جهت افزایش راندمان ظرفیت ۲۰

فصل دوم : راهکارهای کم هزینه بهینه سازی انرژی در صنعت ریخته‌گری ۲۲

۲-۱. بهبود عملکرد الکترو موتورها و سیستم‌های مرتبط ۲۲

۲-۲. بهبود کیفیت توان ۲۲

۲-۳. ولتاژ مناسب شبکه ۲۳

۲-۴. تقارن الکتریکی سه فاز ۲۴

۲-۵. افزایش بازدهی الکتروموتورها با اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری ۲۶

۲-۶. کاهش تلفات داخلی الکتروموتور ۲۸

۲-۷. کاربرد رایانه در صنعت ریخته‌گری ۲۹

۲-۸. استفاده از قراضه‌های تمیز ۳۱

۲-۹. استفاده از قراضه‌های فشرده یا قراضه‌های خرد شده ۳۱

۲-۱۰. استفاده از قراضه‌های پیشگرم شده **۳۱**

۲-۱۱. کاهش دمای مذاب **۳۲**

۲-۱۲. تدوین برنامه منظم تعمیر و نگهداری تجهیزات فرآیندی و تأسیسات گرمایش و سرمایشی **۳۲**

۲-۱۳. عایق بندی مبدل‌های حرارتی، دیگ بخار، لوله‌های بخار و آب گرم **۳۴**

فصل سوم : راهکارهای پرهزینه بهینه سازی انرژی ۳۵

در صنعت ریخته‌گری **۳۵**

۳-۱. استفاده از الکترو موتورهای پر بازده **۳۵**

۳-۲. استفاده از جبران کننده‌های خازنی در صنعت **۳۶**

۳-۲-۱. جبران سازی انفرادی ۳۷

۳-۲-۲. جبران سازی گروهی ۳۷

۳-۲-۳. جبران سازی مرکزی ۳۷

۳-۲-۴. تعیین قدرت خازن مورد نیاز ۳۸

۳-۲-۵. تهویه خازن‌ها ۳۹

۳-۳. استفاده از کوره نگهدارنده مذاب پیمانه ای **۳۹**

۳-۱. استفاده از پمپ‌های گردشی **۴۰**

۳-۲. استفاده از تکنولوژی‌های نوین ذوب **۴۱**

۳-۲-۱. ذوب با استفاده از اشعه الکترونی (EBM) ۴۲

۳-۲-۲. هیترهای شناور ۴۳

۳-۲-۳. گرمایش مادون قرمز (IR) ۴۳

۳-۲-۴. ذوب توسط امواج ماکروویو ۴۴

۳-۲-۵. گرمایش پلاسما ۴۵

۳-۲-۶. کوره‌های خورشیدی ۴۵

energyenergy.ir

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱. اثرات تغییرات ولتاژ بر عملکرد الکتروموتورها ۲۳
شکل۲-۲. ارتباط تغییرات مربوط به افزایش دما با عمر عایق ۲۴
شکل۲-۳. افزایش دما با توجه به ولتاژهای نامتعادل ۲۵
شکل۲-۴. دلایل نامناسب بودن سایز موتورها ۲۸
شکل۲-۵. صرفه جویی انرژی بوسیله تعویض اتصال در یک موتور ۷/۵ کیلووات ۲۹
شکل۳-۱. منحنی بازده موتورهای الکتریکی ۳۶
شکل۳-۲. نمایی ساده از کوره پیمانه ای ۴۱
شکل۳-۳. نمایی ساده از پمپ‌های گردشی ۴۱
شکل۳-۴. شمایی از فرآیند ذوب با اشعه الکترونی ۴۳
شکل۳-۵. شمایی از فرآیند ذوب با استفاده از تابش مادون قرمز ۴۴
شکل۳-۶. شمایی از فرآیند گرمایش با استفاده از پلاسما ۴۵

energyenergy.ir

چکیده

راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته‌گری کشور به سه دسته بی هزینه، کم هزینه و پرهزینه تقسیم می‌شوند. راهکارهای بی هزینه مصرف انرژی، بیشتر راهکارهای مدیریتی را دربر می‌گیرد، هزینه اجرای آن‌ها بسیار اندک بوده و در برابر سایر راهکارها قابل چشم پوشی است. راهکارهای کم هزینه بیشتر راهکارهایی را در بر می‌گیرد که نیاز به ایجاد تغییراتی در سیستم داشته اما هزینه آن کم می‌باشد. راهکارهای پرهزینه راهکارهایی را در بر می‌گیرد که نیاز به ایجاد تغییر اساسی در سیستم کارخانه (مانند تعویض کل کوره یا تغییر کلی در ساختار تجهیزات و ...) و استفاده از تجهیزات گران قیمت داشته که اجرای آن‌ها بسیار پرهزینه می‌باشد. این راهکارها در ادامه توضیح داده شده اند.

energyenergy.ir

فصل اول
راهکارهای بدون هزینه بهینه سازی انرژی در صنعت ریخته‌گری

راهکارهای بدون هزینه در صنایع ریخته‌گری، شامل راهکارهای مدیریتی می‌باشند که هزینه آن‌ها در مقایسه با هزینه سایر راهکارها بسیار ناچیز می‌باشد. این راهکارها در ادامه توضیح داده شده اند.

۱-۱. بررسی ضریب بار

یکی از پارامترهایی که توانایی کارخانه در استفاده بهینه از انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد، ضریب بار می‌باشد. بهترین شکل مصرف زمانی رخ می‌دهد که ضریب بار با حفظ تولید، در حالی که انرژی مصرفی کاهش یافته است، به یک نزدیکتر باشد. طبق تعریف، ضریب بار برابر است با انرژی مصرفی در یک دوره زمانی به حاصلضرب ماکزیمم توان مصرفی (دیماند خوانده شده در قبوض) در ساعات کارکرد دوره مذکور و فرمول آن به صورت زیر می‌باشد.

$$Load\ Factor = Energy\ Consumption/(Power\ Demand * Period)$$

در این رابطه، ضریب بار در یک دوره زمانی بر اساس میزان انرژی مصرفی، دیماند خوانده شده و ساعات کارکرد در آن دوره محاسبه می‌شود [۱].

۱-۲. استقرار استاندارد مدیریت انرژی

استقرار سیستم استاندارد مدیریت انرژی در صنایع ریخته‌گری بسترهای لازم برای ارتقاء پیوسته و اجرای راهکارهای کاهش مصرف انرژی در این صنایع را فراهم می‌کند.

استاندارد مدیریت انرژی، استراتژی تنظیم و بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از سیستم‌ها و روش‌های موجود در جهت کاهش مستمر انرژی لازم به ازای واحد محصول است. نخستین مرحله برای استقرار استاندارد مدیریت انرژی تدوین خط مشی انرژی است. خط مشی انرژی بیان مقاصد و جزییات مرتبط با عملکرد انرژی کلی واحد می‌باشد که زیربنایی برای اجرا، تنظیم و دستیابی به اهداف انرژی است. سیستم مدیریت انرژی مانند سیستم مدیریت محیط زیست یا کیفیت، دربرگیرنده مجموعه ای از مراحل چهارگانه طرح ریزی، اجرا، کنترل و بازنگری است که در قالب یک حلقه PDCA[1]، اجرا می‌شود. ممیزی انرژی اولیه که در واقع مرجعی برای بررسی میزان بهبود راندمان انرژی در آینده نیز محسوب می‌شود، اطلاعات مورد نیاز برای اولین مرحله این چرخه را تعیین می‌کند. ممیزی انرژی اولیه امکان تعیین

[1] .Plan-Do-Check-act

طرح مصرف انرژی را فراهم می‌کند. طرح انرژی در تعیین نقاط مصرف کننده انرژی و کنترل هزینه‌های انرژی از طریق تشخیص نواحی دارای ضایعات و نواحی دارای پتانسیل صرفه جویی در مصرف انرژی در کارخانه مورد بررسی، بسیار اهمیت دارد. در ادامه باید مطالعه کمی در رابطه با مصرف بهینه انرژی صورت گیرد. مدیریت انرژی باید طرح مشخصی از مصارف انرژی تنظیم کند و یک دستورالعمل مرحله به مرحله برای اجرای آن تدوین کند. یک برنامه بهبود پیوسته و بازنگری دوره‌ای، باعث می‌شود که از تمام موقعیت‌های بهینه سازی مصرف انرژی به بهترین نحو استفاده شود. به طور کلی مدیریت انرژی مؤثر باید:

- ✓ یک برنامه سیستماتیک برای ارزیابی پیوسته و کاهش هزینه‌های انرژی تدوین نماید.
- ✓ به صورت پیش گستر باشد، نه فقط مربوط به هنگام افزایش هزینه‌های انرژی
- ✓ به صورت یک پروژه بهبود وضعیت انرژی گذرا نباشد، بلکه یک فرآیند مستمر باشد.
- ✓ به صورت مجزا باشد یا در کنار سایر برنامه‌های مدیریتی مثل مدیریت محیط زیست و مدیریت کیفیت

موفق ترین برنامه‌های مدیریت انرژی توسط تیمی از افراد بخشهای اداری، مدیریت، مهندسی، تعمیر و نگهداری، عملیات و مالی توسعه و ابقاء می‌شود و حتی برای سیستم مدیریت انرژی با ابعاد کوچک یا متوسط، بازنگری دوره ای ضرورت دارد[۲، ۱].

۱-۳. اندازه گیری و ارزیابی صحیح مصرف ویژه

تا زمانی که مصرف ویژه و تلفات انرژی مشخص نباشد، هرگونه پیش بینی و تحلیل راهکارهای قابل اجرا در صنعت ریخته‌گری ممکن نیست. با توجه به اینکه در یک واحد ریخته‌گری از حامل‌های انرژی متفاوتی استفاده می‌شود، طبق معیارها و مشخصات تدوین شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران رعایت نکات زیر الزامی است [۴، ۳]:

- ✓ برای اندازه گیری انرژی الکتریکی علاوه بر کنتور اصلی، هریک از بخش‌های ریخته‌گری باید کنتور فرعی جداگانه داشته باشد.
- ✓ تمام کوره‌های ذوب الکتریکی، باید به کنتور نشانگر مصرف و آمپر مجهز باشد.
- ✓ برای اندازه گیری گاز مصرفی، علاوه بر کنتور اصلی هریک از بخشهای ریخته‌گری باید به کنتور فرعی مجهز باشد.
- ✓ مصرف سایر حاملهای انرژی نیز باید برای هر بخش مشخص باشد.
- ✓ به منظور اطمینان از کارکرد کنتورها و سایر وسایل اندازه گیری، حداقل هر سه ماه یکبار، باید کنترل شده و عملیات کالیبراسیون انجام گیرد.
- ✓ در صورتیکه در یک بخش فقط یک نوع انرژی مصرف می‌شود (نظیر بخش ذوب با کوره‌های الکتریکی و یا

عملیات حرارتی با سوختهای گازی) میزان مصرف می‌تواند بر اساس واحدهای متداول (کیلووات ساعت، متر مکعب و ...) ثبت شود، ولی در سایر موارد که انرژیهای متفاوت مورد استفاده قرار گیرد، اندازه گیری و ارزیابی انرژی معادل (با در نظر گرفتن راندمان نیروگاهی) ضرورت دارد.

۱-۴. ارتقاء مهارتهای کارکنان صنایع ریخته‌گری از طریق آموزش

با توجه به استاندارد مدیریت انرژی، افرادی که برای نقش‌ها و مسئولیت‌های مربوط به حوزه انرژی در یک صنعت مشخص تعیین شده‌اند، باید لیاقت و شایستگی کافی را در این زمینه دارا باشند. باید اطمینان حاصل شود که کلیه پرسنل و کارمندان مرتبط با صنایع ریخته‌گری در موارد زیر به آگاهی کامل رسیده‌اند:

- ✓ سیاستهای انرژی و برنامه‌های مدیریت انرژی در صنعت ریخته‌گری.
- ✓ کلیه فعالیتهای مرتبط با کنترل و بهبود مصرف انرژی.
- ✓ تأثیرات واقعی و بالقوه مرتبط با مصرف انرژی ناشی از فعالیتهای خود و اینکه چگونه رفتار و فعالیتهای آنها در دستیابی به اهداف انرژی سهیم می‌باشد.
- ✓ وظایف و مسئولیت‌ها در در جهت کنترل و بهبود مصرف انرژی.
- ✓ مزایای بهبود راندمان انرژی.

کارمندانی که فعالیت‌های آنان تأثیر بارزی در مصرف انرژی در صنایع ریخته‌گری دارد، باید از لحاظ تحصیلات، آموزش و تجربه در حد بالایی باشند و این از مسئولیت‌های سازمان است که اطمینان حاصل نماید چنین پرسنلی دارای کفایت و شایستگی لازم می‌باشند. همچنین باید کلیه ابزارهای آموزشی لازم مرتبط با بهینه‌سازی مصرف انرژی شناسائی و تعیین شود. باید اطمینان حاصل شود که سطوح مدیریتی، آگاهی و آموزش‌های لازم و کافی در زمینه مدیریت انرژی را پیدا کرده تا با استفاده از ابزارها و متدلوژی مدیریت انرژی به اهداف تعیین شده دست یابند.

۱-۵. برنامه ریزی جهت افزایش راندمان فرآیند

یکی از شاخص‌های عملکرد کلیدی در ترازیابی صنایع ریخته‌گری، راندمان فرآیند می‌باشد. راندمان فرآیند برابر است با مقدار قطعات ریختگی فروخته شده که به صورت درصدی از مواد خام فلزی ورودی به کوره بیان می‌شود. این پارامتر میزان استفاده بهینه کارخانه از مواد خام ورودی را نشان می‌دهد [۷-۵].

از جمله پارامترهای مؤثر در راندمان فرآیند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ تلفات ذوب[1]
- ✓ تلفات ناشی از پاشش و سرریز مذاب[1]

[1] Melting Loss

- ✓ تلفات سیستم راهگاه و تغذیه[2]
- ✓ ضایعات و قطعات برگشتی[3]

بنابراین برای بهبود راندمان فرآیند در صنایع ریخته‌گری باید هریک از این تلفات را به حداقل رساند. در ادامه راهکارهای کاهش تلفات مؤثر در راندمان فرآیند آورده شده‌اند.

۱-۵-۱. کاهش تلفات ذوب

این تلفات شامل موادی است که در حین فرآیند ذوب به صورت تلفات خارج می‌شوند و به صورت درصدی از مواد فلزی شارژ شده به کوره‌های ذوب بیان می‌شود. تلفات ذوب را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود:

- ✓ تلفات ضروری جهت حصول ترکیب شیمیایی و خواص مورد نظر
- ✓ تلفات ناخواسته بدلیل کیفیت پایین مواد اولیه، فرآیند و تکنولوژی

تلفات ذوب بر مصرف مواد اولیه و مصرف انرژی تأثیر گذار است. موارد زیر بر تلفات ذوب تأثیر بسزایی دارند:

- کیفیت مواد شارژ
- ترکیب مواد شارژ
- زمان و درجه حرارت نگهداری ذوب
- انتخاب غلط نسوز کوره ذوب
- کنترل ضعیف ترکیب شیمیایی سرباره
- تجهیزات ذوب نامناسب

اقدمات لازم جهت کاهش تلفات ذوب در ادامه آورده شده اند.

۱. انتخاب مواد شارژ با کیفیت مناسب

- ✓ انطباق ترکیب شارژ اولیه با مشخصات نهایی قطعه‌ی ریختگی، باعث می‌گردد تا:
  - از افزودن مواد برای جبران کمبود عناصر آلیاژی نهایی جلوگیری شده و با عدم انجام اصلاحات ذوب از سوختن عناصر جلوگیری خواهد شد.
  - از اقدامات متالوژیکی اضافی برای کاهش عناصر شمیایی اجتناب خواهد شد.
- ✓ باید اطمینان حاصل شود که مواد اولیه عاری از رطوبت باشند، زیرا:
  - رطوبت باعث انجام فعل و انفعال شیمیایی اکسیداسیون و احیاء شده و باعث تلفات بسیاری از عناصر مهم

[1] Pig and Spillage
[2] Runners and Risers
[3] Scrap Casting and Rejects

آلیاژی می‌گردد.

- رطوبت بر روی مصرف مواد اولیه (برای رسیدن مذاب به مشخصات نهایی) تأثیر می‌گذارد.

✓ باید اطمینان حاصل شود که مواد اولیه از آلودگی‌هایی مثل روغن، گریس، ماسه، زنگ و ... عاری می‌باشد.

- آلودگی‌هایی ازاین نوع همراه با شارژ اولیه وزن شده و به کوره شارژ می‌شوند اما به صورت سرباره خارج می‌شوند و درنتیجه کم شدن وزن مذاب باید با افزودن مواد اولیه جبران شود.
- انتشار اکسیژن (توسط زنگ آهن) و یا سایر گازها در مذاب باعث سوختن عناصر درون مذاب و یا تولید سرباره اضافه می‌گردد.
- از آنجا که آلودگی‌ها بر ترکیب شیمیایی اثر گذاشته منجر به افزودن مواد خاص به مذاب می‌شود، باید مواد را تمیز کرده و در صورت امکان برگشتی‌ها را شات بلاست[1] نمود.
- از استفاده‌ی از ورق‌های گالوانیزه[2] اجتناب شود.

۲. اجتناب از افزایش دما و طولانی کردن زمان نگهداری

✓ از تلفات تشعشعی مذاب جلوگیری شود. این تلفات تابعی از درجه حرارت و زمان می‌باشند، به طوری که درجه حرارت بالاتر و زمان‌های طولانی تر تلفات را افزایش خواهد داد.

✓ عملیات ذوب با حداکثر سرعت ممکن انجام شود و میزان فوق ذوب لازم (و نه بیشتر) اعمال شود.

✓ از تصحیح زیاد ترکیب مذاب در بین فرآیند ذوب و بارریزی، با انتخاب شارژ مناسب پرهیز شود.

۳. استفاده از نسوز مناسب در کوره

اگر ذوب و نسوز با هم همخوانی نداشته باشند، مذاب با نسوز وارد فعل و انفعال شیمیایی شده، باعث سوختن عناصر مذاب و افزایش تولید سرباره می‌گردد.

۴. کنترل ترکیب شمیایی سرباره

در صورت کنترل ضعیف و یا عدم کنترل ترکیب شیمیایی سرباره، برخی از عناصر آلیاژی مهم ممکن است در سرباره محبوس شده و به دلیل تلفات، احتیاج به جایگزینی آنها خواهد بود.

تأثیرات نهایی کاهش تلفات ذوب عبارتند از:

✓ کاهش مصرف فلز، زیرا بیشتر تلفات فلزی باید جایگزین شود.

[1] Shot-blast
[2] Zinc-coated

- ✓ کاهش مصرف انرژی، زیرا انرژی مصرف شده برای ذوب فلز تلف شده، هدر می‌رود.

۱-۵-۲. کاهش تلفات ناشی از پاشش و سرریز مذاب

این تلفات، مذابی است که هنگام تخلیه کوره و بارریزی به قالب، سرریز یا پاشش کرده که به صورت درصدی از مذاب تخلیه شده بیان می‌شود. لازم به ذکر است که حدود ۵ تا ۱۰ درصد تلفات ناشی از پاشش، جزء تلفاتی خواهد بود که قابلیت بازیافت ندارد و حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد تلفات ناشی از پاشیدن مذاب قابل بازیابی است. اما باید توجه کرد که برای بازیابی :

- ✓ تلفات بیشتری در هنگام ذوب این ضایعات به وجود خواهد آمد.
- ✓ انرژی بیشتری برای ذوب باید صرف شود.
- ✓ ظرفیت ذوب و نیروی کار در بخش ذوب باید افزایش یابد.
- ✓ اگر بخش ذوب، گلوگاه تولید باشد ظرفیت کارخانه و نیروی کار باید افزایش یابد.

تلفات ناشی از پاشیدن مذاب با توجه به موارد زیر متغیر است:

- نوع فرآیند ذوب
- نوع تکنولوژی قالب گیری: در روش قالب گیری دستی باید همواره مقداری مذاب اضافی برای اطمینان از پرشدن قالب در نظر گرفته شود.

دلایل بروز تلفات بیش از اندازه ذوب در اثر پاشیدن عبارتند از:

- ✓ آنالیز غلط مذاب
- ✓ درجه حرارت اشتباه مذاب در پاتیل
- ✓ توقف خط قالب گیری پس از تخلیه کوره
- ✓ طرح تولید آسیب پذیر و شکننده
- ✓ تکنولوژی بارریزی نامناسب

اقدمات لازم جهت کاهش تلفات پاشش و سرریز مذاب در ادامه آورده شده اند.

۱. تخلیه مذاب با ترکیب شیمیایی صحیح

- ✓ تجهیزات آزمایشی زیر نزدیک به کوره نصب شوند:
  - آنالیز حرارتی
  - آزمایش گوه (چدن خاکستری)

- اسپکترومتری

✓ دستورالعمل‌های لازم برای نمونه‌برداری، آزمایشات و مستندسازی تدوین شود.

۲. اطمینان از درجه حرارت صحیح مذاب در پاتیل

✓ از پاتیل‌های پیش گرم شده استفاده شود.

✓ قبل از تخلیه کوره، درجه حرارت مذاب اندازه‌گیری شود.

۳. به حداقل رساندن زمان توقف خط قالب‌گیری

✓ دسترسی به مدل یدکی برای جایگزینی مدل‌های صدمه دیده

✓ تعمیر مدل‌های آسیب دیده در اسرع وقت

✓ اطمینان از تعمیر خط قالب‌گیری در اسرع وقت

✓ اطمینان از وجود لوازم یدکی کافی و لازم برای خط قالب‌گیری

۴. خط تولید هماهنگ

✓ هماهنگی سیستم تولید در بخش های ذوب، قالب‌گیری، ماهیچه گیری و بارریزی

✓ انعطاف پذیری سیستم تولید برای تغییر سیستم ذوب متناسب با نیازهای مختلف

۵. کسب اطمینان از کفایت تکنولوژی بارریزی و فرآیند

✓ یک سیستم بارریزی مناسب انتخاب شود.

- سیستم بار ریز دستی برای قطعات متوسط (خط قالب‌گیری ماشینی) تا قطعات بزرگ (قالب‌گیری دستی)
- سیستم بار ریزی اتوماتیک برای ریخته‌گری در خطوط قالب‌گیری اتوماتیک

✓ اطمینان از این که بار ریزها در سیستم‌های بار ریزی دستی، مهارت کامل داشته باشند.

✓ نگهداری و کنترل هوشمند تجهیزات بار ریز اتوماتیک

- نازل بار ریز تمیز باشد.
- اگر از پاتیل بار ریز گرم نشده استفاده می‌شود، بهتر است از سیستم کنترل هوشمند درجه حرارت استفاده شود.

تأثیرات نهایی کاهش تلفات پاشش و سر ریز مذاب عبارتند از:

✓ کاهش مصرف فلز، زیرا مذاب هدر رفته باید جایگزین گردد.

- ✓ کاهش مصرف انرژی، زیرا انرژی مصرف شده برای ذوب فلز تلف شده هدر رفته و به اندازه این تلفات بایـد ذوب دوباره انجام شود.

۱-۵-۳. کاهش تلفات سیستم راهگاه و تغذیه

همواره بخشی از مذابی که برای تولید قطعات ریخته‌گری به داخل قالب ریخته می‌شود، در سیستم راهگاه و تغذیـه باقی می‌ماند، که تلفات سیستم راهگاه و تغذیه نام دارد و بر اساس موارد ذیل تغییر می‌یابد:

- ✓ نوع مواد و آلیاژ ریختگی
- ✓ نوع محصول
- ✓ نوع فرآیند (سختی و صلب بودن قالب)
- ✓ شکل قطعه (مدول) و پیچیدگی آن

اقدمات لازم جهت کاهش تلفات ناشی از سیستم راهگاه و تغذیه در ادامه آورده شده‌اند.

۱. طراحی مجدد سیستم راهگاه و تغذیه

- ✓ بالانس و متعادل نمودن سیستم‌ها
- ✓ استفاده از نرم افزارهای شبیه‌سازی برای پیش‌بینی انجماد (به خصوص برای فولادها)

۲. بهینه کردن ابعاد حوضچه بارریزی

حوضچه بارریزی باید دارای کوچکترین اندازه ممکن بوده ضمن این که سرعت تقسیم مـذاب در سیسـتم راهگـاهی کافی باشد.

تأثیرات نهایی کاهش تلفات ناشی از سیستم راهگاه و تغذیه عبارتند از:

- ✓ قطعات بیشتری می‌تواند با همان مقدار مذاب تولید شود.
- ✓ کاهش مصرف انرژی، زیرا مذابی که در سیستم راهگاه و تغذیه تلف شده، قابلیت تبـدیل بـه قطعـه ریختگـی را داشته و با ذوب مجدد نیز دچار تلفات جرم و انرژی خواهد شد.
- ✓ تولید بر نفر را در فرآیند ریخته‌گری افزایش می‌دهد، زیرا با تبدیل راهگاه ها و تغذیه‌ها به قطعات ریختگی، کار پرسنل منجر به تولید می‌گردد که قابل فروش است.
- ✓ بهره‌وری ظرفیت را افزایش می‌دهد، زیرا ظرفیت با توجه به تجهیزات تولیدی در دسترس محدود می‌باشد و اگر تلفات سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری کاهش یابد ظرفیت تولید قطعات قابل فروش افزایش خواهد یافت.

۱-۵-۴. کاهش ضایعات و قطعات برگشتی

این تلفات شامل قطعات قراضه[1] کارخانه و قطعاتی است که از طرف خریدار برگشت داده شده‌اند و به صورت درصدی از وزن قطعات ناخالص[2] تولید شده بیان می‌شود.

دلایل گوناگون برای افزایش ضایعات و قطعات برگشتی وجود دارد که عموماً عبارتند از:

- ✓ کنترل ناکافی فرآیند
- ✓ اشتباه متالورژیکی
- ✓ مشکلات مرتبط به ماسه
- ✓ طراحی قطعات ریختگی
- ✓ فرآیند تولید غلط

اقدامات لازم جهت کاهش این تلفات در ادامه آورده شده‌اند.

۱. ایجاد یک ساختار نظام مند برای تشخیص پتانسیل‌ها و تعیین اولویت‌ها

- ✓ میزان ضایعات از نظر وزنی، حجمی و هزینه بررسی شود.
- ✓ مقادیر بالای ضایعات از نظر نوع تولید و قطعه ریختگی خاص شناسایی شده و علل آن تعیین گردد.
- ✓ در مورد مقادیر بالای ضایعات یک برنامه بهبود هدفمند طراحی و استقرار یابد.

۲. اجرای برنامه‌های کنترل فرآیند و گردآوری آمار و اطلاعات در موارد ذیل

- ✓ اطلاعات کنترل فرآیندهای تولید (کنترل ترکیب شیمیایی، درجه حرارت و ...)
- ✓ الزامات متالوژیکی (ریز ساختار، سختی و ...)
- ✓ خصوصیات ماسه
- ✓ الزامات مشتری در مورد کیفیت قطعات ریختگی (استانداردهای پذیرش قطعه)

۳. بررسی بهبود مستمر و به روز رسانی اطلاعات کنترل فرآیند

۴. اطمینان از اینکه تمام طراحی ها بر پایه راندمان بهینه تولید انجام شده‌اند.

- ✓ مانند حذف گوشه‌های تیز، شیب ناکافی مدل‌ها، بروز نقاط ترک گرم، قوس‌های نامناسب در کنج‌ها، تدوین استانداردهای دلخواه و مناسب و شاخص‌های مهم در ارتباط با مشتریان

[1] Scrap casting
[2] Gross casting

۵. بازنگری فرآیند و تجهیزات تولیدی

تأثیرات نهایی کاهش تلفات ناشی از ضایعات و قطعات برگشتی عبارتند از:

- ✓ کاهش مصرف انرژی، زیرا در هنگام بروز ضایعات ریختگی و برگشتی‌ها مذابی که می‌تواند تبدیل به قطعه سالم و قابل فروش شود هدر رفته و دوباره این ضایعات باید ذوب شوند.
- ✓ راندمان و اثر بخشی نیروی کار بهبود می‌یابد و خروجی نیروی کار در رابطه با تولید قطعات سالم و ارزشمند متناسب با کاهش ضایعات افزایش خواهد یافت.
- ✓ بهبود و ارتقای راندمان ظرفیتی واحد به دلیل افزایش حجم قطعات قابل فروش

۱-۶. برنامه‌ریزی جهت افزایش راندمان تولید

یکی از شاخصهای عملکرد کلیدی در ترازیابی صنایع ریخته‌گری، راندمان تولید می‌باشد. راندمان تولید نشان دهنده زمان استفاده شده برای تولید محصول نهایی می‌باشد که به صورت درصدی از کل زمان عملیات بیان می‌شود [۲۳-۲۱].

از جمله عوامل مؤثر در راندمان تولید به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- ✓ زمان توقف[1]
- ✓ زمان کار با سرعت کم[2]
- ✓ قالب‌های معیوب[3]
- ✓ ضایعات ریختگی و برگشتی‌ها

بنابراین برای بهبود راندمان تولید در صنایع ریخته‌گری باید هر یک از این تلفات را به حداقل رساند. کاهش ضایعات ریختگی و برگشتی‌ها در بخش راندمان فرآیند توضیح داده شد، در ادامه سایر راهکارهای کاهش تلفات مؤثر در راندمان تولید آورده شده‌اند.

۱-۶-۱. کاهش تلفات ناشی از زمان توقف

زمان توقف نشان دهنده زمانی است که قالب‌گیری انجام نشده (متوقف بوده) و به صورت درصدی از کل زمان عملیات[4] بیان می‌شود.

تلفات و هدر رفت متناسب با تکنولوژی قالب‌گیری متغیر است:

- ✓ قالب‌گیری دستی: به علت اینکه تجهیزات مورد استفاده در این فرآیند از پیچیدگی کمتری برخوردارند توقف

[1] Down Time
[2] Slow Running
[3] Bad moulds and Scrap casting
[4] Total time available for production

تولید کمتر بروز می‌نماید.

- ✓ قالب‌گیری ماشینی: به علت حجم گسترده‌تر استفاده از تجهیزات، زمان توقف در این نوع قالب‌گیری بیشتر اتفاق می‌افتد.
- ✓ قالب‌گیری اتوماتیک: این خطوط با خطر توقف مواجه هستند و نیاز به وجود یک سیستم هشدار دهنده و یک برنامه سازمان یافته تعمیر و نگهداری دارند.

دلایل توقف‌های اضافی در خطوط قالب‌گیری عبارتند از :

- ✓ توقف‌های الکتریکی و مکانیکی
- ✓ انتظار و توقف برای مذاب و یا ماسه در خط
- ✓ تعداد تغییرات زیاد مدل
- ✓ ناکارآمدی‌های فرآیندی یا سازمانی
- ✓ برنامه‌ریزی ضعیف

اقدمات لازم جهت کاهش زمان توقف قالب‌گیری در ادامه آورده شده‌اند.

۱. استقرار یک دیدگاه نظام مند برای تعیین علل اصلی توقف

- ✓ بررسی علل توقفات
- ✓ تعیین حوادثی که بیشترین تکرار را در ایجاد توقفات داشته‌اند و برطرف کردن آن‌ها
- ✓ دسته‌بندی دلایل توقفات
  - عیوب تجهیزات
  - خطوط پشتیبانی ناهماهنگ (انتظار برای مذاب، ماسه، ماهیچه و ....)
  - کاستی‌های سازمانی (برنامه‌ریزی، تغییرات مدل و ....)
  - کنترل‌های مدیریتی ناهماهنگ

۲. اجرای یک برنامه تعمیر و نگهداری مشخص جهت کاهش زمان‌های توقف

- ✓ تعیین استراتژی و راهبرد تعمیر و نگهداری
  - تجهیزات مورد هدف
  - تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه
  - مانیتورینگ تجهیزات

- ✓ حفظ و نگهداری از لوازم یدکی برای پشتیبانی از استراتژی و راهبرد تعمیر و نگهداری
- ✓ اطمینان از آموزش مناسب کادر مهندسی جهت نگهداری از تجهیزات خاص

۳. اطمینان از ذخایر فلز مذاب، ماسه و ماهیچه در خطوط قالب‌گیری

- ✓ هماهنگ نمودن فرآیند تولید در بخش‌های مختلف
- ✓ کاهش و حذف گلوگاه‌ها با سرمایه‌گذاری بیشتر در ظرفیت بخش‌های ذخیره‌سازی

۴. کاهش تأثیرات تغییر مدل در خط با برنامه زمانبندی تولید ارتقا یافته

۵. اطمینان از عدم تأثیر نیروی انسانی بر عملکرد خط قالب‌گیری

- ✓ اطمینان از آموزش کافی و کامل پرسنل

تأثیرات نهایی کاهش زمان توقف خط قالب‌گیری عبارتند از:

- ✓ افزایش خالص تولید قطعات ریختگی
- ✓ افزایش اثر بخشی نیروی کار

- نیروی کار حاضر در خط تولید برای تولید مداوم فعال بوده و لازم است از انتظار و بیکاری غیر مولد در اثر توقف خط قالب‌گیری اجتناب شود.
- جلوگیری توقف خط قالب‌گیری باعث کاهش و حذف گلوگاه‌ها در سایر بخش‌ها مانند بخش ذوب، ماهیچه‌گیری، کنترل کیفی و تدارکات و ... خواهد گردید.
- حذف گلوگاه‌ها باعث افزایش راندمان ظرفیت می شود، زیرا خط قالب‌گیری معمولاً تعیین کننده نهایی ظرفیت است و جلوگیری از توقفات آن باعث جلوگیری از اتلاف منابع و هزینه‌های صرف شده برای تجهیزات خواهد گردید.

۱-۶-۲. کاهش تلفات ناشی از سرعت کم قالب‌گیری

در صورتی که کارخانه در زیر ظرفیت مورد نظر کار کند، سرعت عملیات قالب‌گیری کمتر از سرعت قالب‌گیری در ظرفیت مورد نظر خواهد بود. تلفات ناشی از این سرعت کم، تلفات سرعت کم قالب‌گیری نامیده شده که به صورت درصدی از زمان کاری (زمان توقف- زمان عملیات = زمان کاری) بیان می‌شود. تلفات ناشی از سرعت پایین قالب‌گیری به تکنولوژی قالب‌گیری وابسته است:

- ✓ قالب‌گیری دستی: سرعت در قالب‌گیری دستی توسط نیروی کار کنترل شده و سرعت تولید می‌تواند به راحتی به کمتر از میزان استاندارد افت نماید.

- ✓ قالب‌گیری ماشینی و اتوماتیک: سرعت قالب‌گیری توسط ماشین آلات کنترل شده که می‌تواند توسط اپراتور کاهش یافته و یا متوقف گردد.

دلایل بروز سرعت کم قالب‌گیری عبارتند از:

- ✓ دشوار بودن قالب‌گیری قطعه ریختگی در یک خط ماشینی نرمال
- ✓ وجود یک سری از توقف‌های کوچک و عدم ثبت آنها در زمان‌های توقف
- ✓ انجام عملیات و کارهای غیر هماهنگ با فرآیند قالب‌گیری
- ✓ زمان‌های طولانی بار ریزی برای قطعات سنگین
- ✓ سرپرستی ضعیف

اقدمات لازم جهت کاهش تلفات ناشی از سرعت کم قالب‌گیری در ادامه آورده شده‌اند.

1. **بررسی علل افت سرعت قالب‌گیری و رفع آنها**
2. **بهبود سازمانی توسط مدیریت**

- ✓ کاهش تلفات ناشی از سرعت کم قالب‌گیری که توسط اپراتور ایجاد شده است.
- ✓ بسیار مهم است که اطمینان حاصل شود پرسنل اقدامات لازم و وظایف محوله را در زمان تعیین شده انجام دهند (بخصوص در روش قالب‌گیری دستی).

تأثیرات نهایی کاهش سرعت کم قالب‌گیری عبارتند از:

- ✓ بهره‌وری نیروی کار بهبود می‌یابد، زیرا کاهش بهره‌وری در خط قالب‌گیری می‌تواند بر زنجیره تولید اثر بگذارد.
- ✓ حصول به میزان ظرفیت بیشتر، به دلیل اینکه ظرفیت در خط قالب‌گیری اغلب متناسب با ظرفیت پیش‌بینی شده تولید است و با کاهش سرعت در خط قالب‌گیری خروجی کل کارخانه کاهش می‌یابد.

۱-۶-۳. کاهش تلفات ناشی از قالب‌های معیوب (ضایعات قالب)

این پارامتر نشان دهنده تعداد قالب‌هایی است که ساخته شده اما به دلیل معیوب بودن مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. این پارامتر به صورت درصدی از کل قالب‌های ساخته شده بیان می‌شود. به عبارت دیگر این پارامتر نشان دهنده نسبت زمان صرف شده برای تولید قالب‌های معیوب به زمان تولید کل قالب‌ها می‌باشد (بر حسب درصد).

هدر رفت ناشی از قالب‌های معیوب برای تکنولوژی‌های قالب‌گیری مختلف متفاوت است:

- ✓ قالب‌گیری دستی: برخی از قالب‌های معیوب قابل تعمیر می‌باشند.
- ✓ قالب‌گیری ماشینی و اتوماتیک: معمولاً نمی‌توان برای تعمیر قالب، خط را متوقف نمود و فقط عیوب جزیی قابل ترمیم می‌باشند.

دلایل افزایش ضایعات قالب عبارتند از:

- ✓ شرایط ماسه استفاده شده
- ✓ شرایط مدل مورد استفاده
- ✓ مشکلات در تنظیمات ماشین قالب‌گیری (عدم انطباق دو لنگه قالب)
- ✓ قالب‌های بارریزی نشده

اقدامات لازم جهت کاهش تلفات ناشی از قالب‌های معیوب در ادامه آورده شده اند.

۱. اطمینان از مناسب بودن ماسه و مشخصات آن

- ✓ پایش و بررسی خصوصیات ماسه و تنظیم آنها مطابق الزامات و شرایط تعیین شده

۲. حصول اطمینان از نگهداری و تعمیر ابزار آلات مربوطه

- ✓ کنترل مدل و تجهیزات مربوطه
  - کنترل ابعاد مدل، قالب و ابزار آلات
  - کنترل مدل و قالب و ابزار آلات از نظر صدمات
  - کنترل گوشه‌ها و انحنای لازم در محل برخورد سطوح
  - پرداخت و پولیش مدل، قالب و ابزار آلات
- ✓ یک دستور العمل مشروح برای بازرسی مدل، قالب و تجهیزات تهیه شود.
  - پس از هر تولید، کلیه مدل‌ها و تجهیزات قالب‌گیری مانند جعبه ماهیچه و سایر ابزار آلات باید تمیز شده، پولیش و کنترل شوند.
  - کنترل ابعاد باید بر روی مدل، تجهیزات و قطعات ریختگی تولیدی بر مبنای یک روند منظم مطابق با الزامات خریدار انجام گردد.
- ✓ بهبود در طراحی و ساخت ابزار آلات

۳. اطمینان از متوازن و هم محور بودن ماشین قالب‌گیری

- ✓ اندازه‌گیری و کنترل محل استقرار صفحه مدل بر روی درجه و کنترل پیچیدگی در جفت شدن درجه‌ها
- ✓ کنترل و حفظ دقت‌های خط قالب‌گیری مطابق دستورالعمل‌ها

۴. پرهیز از تولید قالب‌های اضافی که بار ریزی نمی‌شوند.

تأثیرات نهایی کاهش قالب‌های معیوب عبارتند از:

- ✓ افزایش تولید قطعات ریختگی و ارتقای ظرفیت عملی تولید

- ✓ افزایش بهره‌وری نیروی کار، با توجه به کارایی بیشتر خط تولید که باعث افزایش تولید کلی کارخانه نیز می‌شود.
- ✓ کاهش تلفات و هدر رفت هزینه‌های سرمایه‌گذاری تجهیزات و هزینه‌های تولید ماهیچه‌های به هدر رفته

۱-۶-۴. برنامه‌ریزی جهت افزایش راندمان ظرفیت

راندمان ظرفیت برابر است با راندمان تولید کارخانه با فرض این که ساعت کارکرد کارخانه به ۲۴ ساعت در ۳۶۵ روز سال افزایش یابد.

دلایل پایین بودن راندمان ظرفیت عبارتند از:

- ✓ پایین بودن راندمان تولید
- ✓ سفارشات ناکافی
- ✓ محدودیت دسترسی به برق
- ✓ ترافیک مصرف بالای برق در ساعت‌های پیک

از چهار سناریوی مختلف می‌توان اقدامات لازم جهت بهبود راندمان ظرفیت را بررسی نمود که در ادامه آورده شده‌اند [۲۴-۲۱].

۱. اقدامات لازم در صورت وجود سفارشات کافی

اگر کارخانه ریخته‌گری دچار محدودیت در سفارشات نباشد، اقدامات زیر جهت بهبود راندمان ظرفیت توصیه می‌شود:

- ✓ حذف کلیه گلوگاه‌های فنی که باعث کاهش ظرفیت می‌شوند.
- ✓ تغییر ساختار سازمان و نیروی کار به نحوی که با حداکثر ظرفیت کار نمایند.
- ✓ افزایش راندمان تولید

۲. اقدامات لازم در صورت وجود سفارشات ناکافی

اگر کارخانه ریخته‌گری فاقد سفارشات کافی باشد، اقدامات زیر جهت بهبود راندمان ظرفیت توصیه می‌شود:

- ✓ توسعه و تولید محصولات جدید برای مشتریان موجود
- ✓ تولید و فروش محصولات موجود به مشتریان جدید با ارتقای مهارت فروش و بازاریابی برای بازارهای محلی

۳. اقدامات لازم برای جستجوی مشتریان جدید در بازارهای صادراتی

اگر کارخانه ریخته‌گری در جستجوی مشتریان جدید در بازارهای صادراتی باشد، اقدامات زیر جهت بهبود راندمان

ظرفیت توصیه می‌شود:

- ✓ ارتقای مهارت در فرآیند با رعایت استانداردهای مورد نیاز مشتریان و بهبود فروش و مهارت بازاریابی به منظور توسعه کسب و کار بین المللی.
- ✓ اگر ریخته‌گری هیچ هدفی برای افزایش حجم فروش ندارد، در این صورت پس از در نظر گرفتن کلیه عوامل اقتصادی در مقیاس کوچکتری تولید کنید. این موضوع در نهایت باعث رقابت پذیرتر شدن واحد از نظر راندمان بالاتر ظرفیت خواهد شد.

تأثیرات نهایی افزایش راندمان ظرفیت عبارتند از:

- ✓ افزایش تولید
- ✓ حداکثر استفاده از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در ریخته‌گری جهت بهره‌گیری از حداکثر ظرفیت ممکن و طمینان از عدم اتلاف هزینه‌های سرمایه‌گذاری.

energyenergy.ir

فصل دوم
راهکارهای کم هزینه بهینه سازی انرژی
در صنعت ریخته‌گری

راهکارهای کم هزینه بیشتر راهکارهایی را در بر می‌گیرد که نیاز به ایجاد تغییراتی در سیستم داشته اما هزینه اجرای آن‌ها کم می‌باشد. این راهکارها در ادامه توضیح داده شده اند.

۲-۱. بهبود عملکرد الکترو موتورها و سیستم‌های مرتبط

در تمام بخش‌های صنعتی، برق از مهمترین منابع انرژی به شمار می‌رود و از آن جا که یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی الکتریکی در کارخانجات صنعتی، موتورهای الکتریکی می‌باشند، لذا بهینه سازی مصرف انرژی در آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در الکتروموتورهای صنعتی، به عمل می‌آید. برخی از این اقدامات مربوط به مرحله طراحی بوده که در هنگام خرید تجهیزات مورد توجه قرار می‌گیرند و برخی دیگر باید در هنگام بهره برداری به انجام برسند. اقداماتی نظیر تهویه مناسب، روغن کاری، بارگذاری مناسب و استفاده از درایوهای کنترل سرعت در هنگام بهره برداری باعث بهبود عملکرد تجهیزات الکتریکی موتوری خواهد شد.

از آنجایی که یک موتور الکتریکی با دیگر اجزا سیستم قدرت در ارتباط بوده و عملکرد آن وابسته به کیفیت توان شبکه است، لذا بررسی پارامترهای مؤثر در کیفیت توان اهمیت پیدا می‌کند. در ادامه به بررسی این مؤلفه‌ها پرداخته می‌شود [۹].

۲-۲. بهبود کیفیت توان

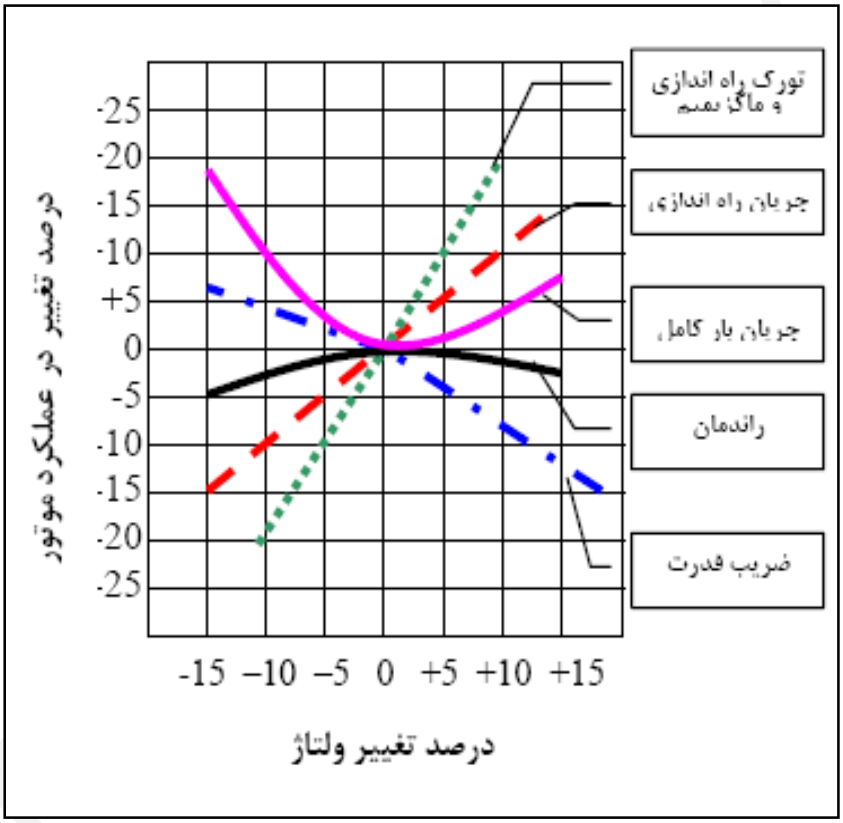
کیفیت توان تأثیر زیادی در بهبود یا اتلاف انرژی دارد. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۰]:

- ✓ نامتعادلی ولتاژ
- ✓ افت ولتاژ
- ✓ سیستم ارتینگ ناقص
- ✓ هارمونیک

۲-۳. ولتاژ مناسب شبکه

ولتاژ اعمال شده به ترمینال باید در حد امکان نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. تغییرات ولتاژ درحدود ۵٪+ الی ۱۰٪- مجاز می‌باشد (شکل۲-۱). تغییر ولتاژ اعمال شده در الکتروموتورها اثرات زیر را به همراه خواهد داشت[۱۰].

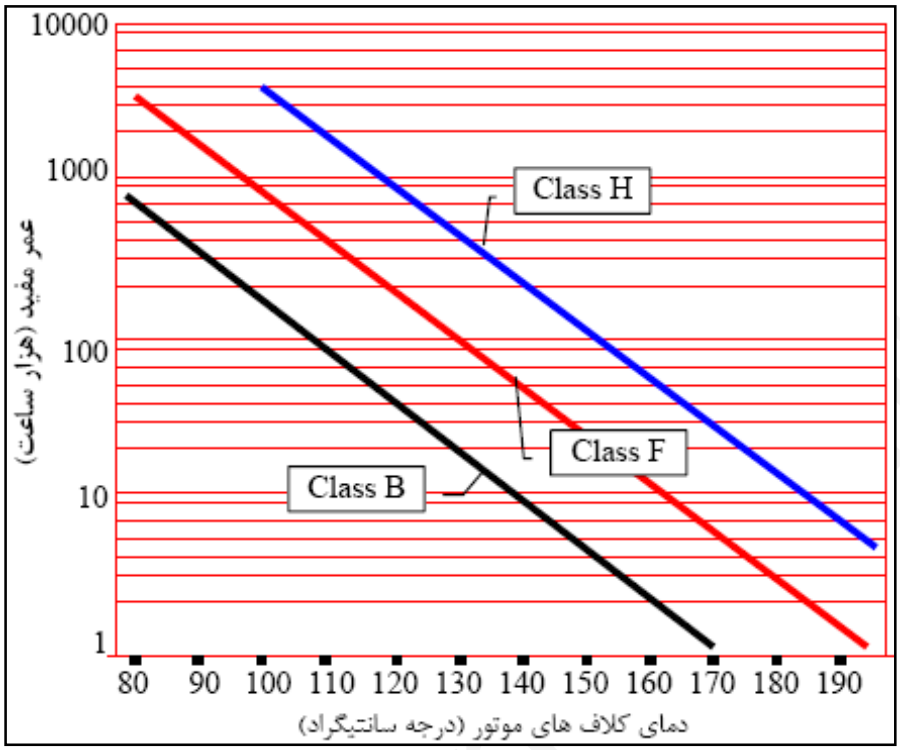
- ✓ افت ضریب قدرت
- ✓ کاهش عمر مفید موتور
- ✓ کاهش راندمان موتور



شکل۲-۱. اثرات تغییرات ولتاژ بر عملکرد الکتروموتورها

همانگونه که در شکل فوق مشخص است، با تغییر ۵٪ در ولتاژ القایی، راندمان موتور بین ۲ تا ۴ درصد کاهش خواهد داشت.

همچنین تحقیقات نشان داده است که با تغییر ۵٪ در ولتاژ، دمای موتور حدود ۱۵ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت که با توجه به شکل۲-۲ این افزایش دما موجب افزایش دمای عایق و در نتیجه کاهش عمر الکتروموتور خواهد شد.



شکل۲-۲. ارتباط تغییرات مربوط به افزایش دما با عمر عایق

۲-۴. تقارن الکتریکی سه فاز

در یک سیستم سه فاز متقارن، ولتاژ هر یک از فازها از لحاظ اندازه با یکدیگر برابر بوده و ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند. فاکتورهای بسیاری در تعادل الکتریکی فازها تأثیرگذار می‌باشد، از جمله بارهای تکفاز، متفاوت بودن سایز کابل‌ها در هر یک از فازها، یا بروز خطای تک فاز، عدم تقارن فازها باعث افزایش تلفات سیستم توزیع و کاهش راندمان موتورها می‌شود. علاوه بر این، بسیاری از موتورهای جدید حساسیت بیشتری نسبت به عدم تقارن ولتاژ دارند. مهمترین تأثیر این پدیده بر روی موتورهای الکتریکی، آسیب دیدن موتور به علت افزایش دما و در نتیجه شکست عایقی می‌باشد، چرا که عدم تقارن ولتاژ می‌تواند جریان‌های نامتقارنی ۶ تا ۱۰ برابر ولتاژ به وجود آورد. معیار سنجش تعادل ولتاژ در یک سیستم سه فاز که توسط استاندارد NEMA[1] تعریف شده است، درصد عدم تعادل ولتاژ[2] نام داشته و حداکثر مقدار مجاز آن یک درصد می‌باشد.

[1]- National Electrical Manufacturers Association
[2]- Voltage Unbalance Percent

$$\%\, V_{unbalance} = \left[\frac{|V_{ave} - V_{max}|}{V_{ave}}\right] * 100\%$$

در رابطه ارائه شده، V_{ave} متوسط ولتاژ سه فاز و V_{max} ولتاژ فازی است که بیشترین اختلاف را با متوسط ولتاژ سه فاز دارد. درصد افزایش دمای ناشی از ولتاژهای نامتعادل به طور تقریبی توسط رابطه زیر به دست می‌آید، که نمودار شکل۲-۳ نیز به همین موضوع اشاره دارد[۱۱].

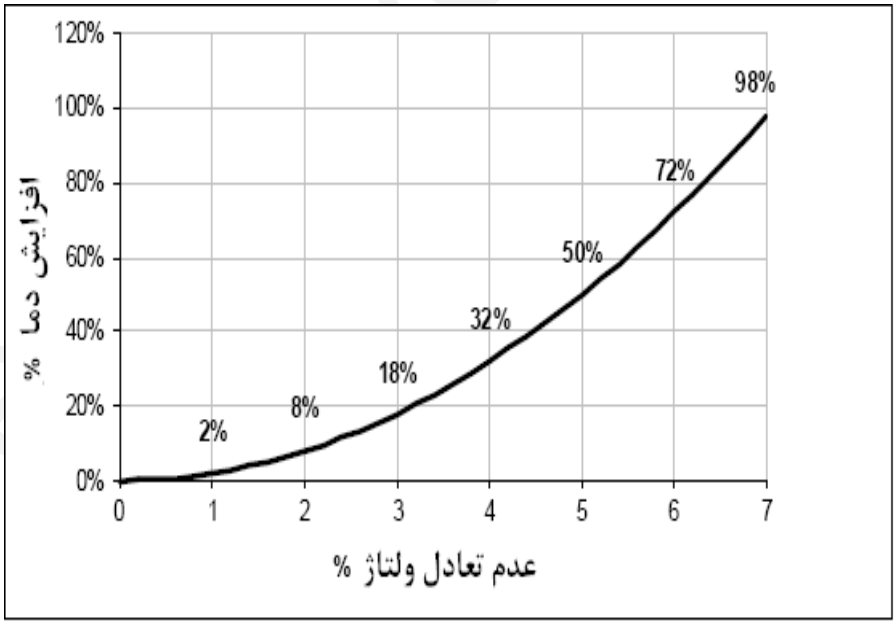
$$\text{درصد افزایش دما} = 2 * (\%\, V_{unbalance})^2$$

با توجه به استاندارد درصد نامتعادلی ولتاژ که ۲ درصد می‌باشد[۱۲] لذا نامتعادلی ولتاژ در حد مجاز می‌باشد. لازم به ذکر است که بررسی شبکه الکتریکی از دیدگاه کیفیت توان بر اساس استانداردهای معتبر نیاز به تحلیل و بررسی مفصل‌تری دارد که در مقوله این پروژه نمی‌گنجد و لازم به تعریف یک پروژه کامل در زمینه کیفیت توان می‌باشد.

$$Vmax = 231\, Volt$$

$$Vavg(measur) = 227\, Volt$$

$$\%\, V_{unbalance} = \left[\frac{|V_{ave} - V_{max}|}{V_{ave}}\right] * 100\% = 1.8\%$$



شکل۲-۳. افزایش دما با توجه به ولتاژهای نامتعادل

به طور مثال موتوری را با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد در نظر بگیرید، درصورتیکه ۲ درصد عدم تعادل ولتاژ داشته باشد، دمای آن ۶/۴ درجه سانتیگراد افزایش پیدا خواهد کرد.

۲-۵. افزایش بازدهی الکتروموتورها با اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری

- ✓ تلفات مکانیکی موتورها بستگی به شرایط نگهداری آنها دارد.
- ✓ با نگهداری و سرویس به موقع موتورها و اجرای برنامه‌های PM میزان تلفات به حداقل می‌رسد.
- ✓ تلفات مکانیکی در موتورها موجب افزایش درجه حرارت سیم‌پیچ‌ها و کوتاهی عمر آنها می‌شود.
- ✓ مناسب بودن سیستم خنک‌کننده موتورها تأثیر زیادی در کاهش درجه حرارت سیم پیچ موتورها دارد.

در بسیاری از موارد به علت عدم نگهداری صحیح موتورها و افزایش درجه حرارت بدنه آنها به جای رفع اشکال، به تعویض و جایگزینی آن با موتور بزرگتر پرداخته می‌شود. این امر باعث افزایش هزینه‌های مربوطه در خرید موتور جدید و همچنین اتلاف انرژی خواهد شد. مواردی که در نگهداری موتورهای الکتریکی دارای اهمیت بوده و در بازدیدهای برنامه ریزی شده بررسی می‌شوند، عبارتند از:

- ✓ تمیز بودن بدنه موتور و دریچه‌های سیستم تهویه
- ✓ روغنکاری قسمت‌های متحرک موتور
- ✓ محکم بودن اتصالات مکانیکی[1]
- ✓ بررسی تعادل ولتاژهای سه فاز
- ✓ تهیه چک لیست برای موتورهای بازدید شده

بطور خلاصه عوامل موثر در بهره‌برداری از موتور که منجر به افزایش بازدهی آنها می‌شود اشاره شده است. جدول۲-۱ خلاصه ای از عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی آورده شده است [۱۳].

[1]- Couplings

جدول۲-۱. عوامل موثر در بازدهی موتورهای الکتریکی

شرایط کارکرد موتور		توضیحات
وابسته به شرایط بار گذاری موتور	بار کامل	بازدهی موتور عموماً در صورتی حداکثر خواهد بود که بار موتور در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ درصد بار نامی شود.
	بار ثابت	برای جلوگیری از هر گونه تغییر سرعت موتور
	سرعت	تغییر سرعت در صورت لزوم باید توسط کنترل کننده‌های دور موتور(درایوها) انجام گیرد.
	ولتاژ ثابت	برای جلوگیری از کاهش گشتاور موتور
وابسته به شرایط نگهداری موتور	تهویه	برای اطمینان یافتن از عدم افزایش دمای موتور از حد مجاز و برخورداری از عمر مفید مورد نظر
	روغن کاری	برای جلوگیری از اعمال بار اضافی (مجازی) بر محور موتور ناشی از افزایش اصطکاک

در ادامه در جدول۲-۲ یک لیست پیشنهادی جهت زمانبندی بازرسی موتورها ارائه شده است که می‌تواند توسط کارخانجات مورد استفاده قرار گیرد.

جدول۲-۲. لیست پیشنهادی برنامه زمانبندی بازبینی موتورها

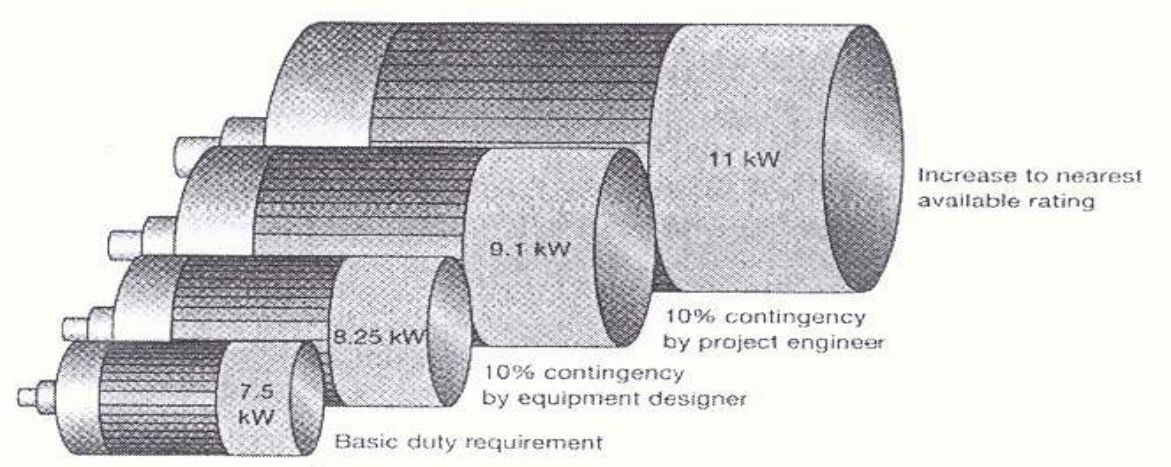
شرح کار	پیشنهادات	بازدید
هم راستایی اتصالات	بازدید محل اتصالات از نظر تجمع ذرات آهن و شنیده شدن صدای غیرعادی	هفتگی
وضعیت موتور	بررسی میزان دما و لرزش موتور	هر سه ماه
تمیزکاری	پاک کردن بدنه موتورها به منظور بهبود فرآیند خنک سازی	هر سه ماه
روغنکاری	بررسی بلبرینگ‌ها از لحاظ روغنکاری طبق دستور سازنده	سالیانه (یا بر اساس زمان کارکرد)
بررسی محل نصب موتورها	محکم کردن موتورها در محل آنها	سالیانه
بررسی ترمینال ورودی موتورها	محکم کردن اتصالات الکتریکی	سالیانه
بررسی تعادل الکتریکی سه فاز	برطرف کردن مشکل عدم تعادل فازها در صورتی که از ٪۱ بیشتر باشد	سالیانه
بررسی ولتاژ ورودی موتورها	بهبود ولتاژ ورودی در صورتیکه تفاوت زیادی با مقادیر طراحی داشته باشد	سالیانه

همانطور که مشاهده می‌شود مجموعه اقدامات ساده فوق، خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط نگهداری موتور می‌شود، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجهی شود.

۲-۶. کاهش تلفات داخلی الکتروموتور

یکی از عوامل افزایش تلفات در موتورهای الکتریکی، کم باری آنها در زمان کار می‌باشد که موجب کاهش ضریب توان و در نتیجه افزایش جریان می‌شود. همچنین موتورهای بزرگتر به علت استفاده از حجم بیشتر هسته‌های مغناطیسی تلفات آهن بزرگتری دارند که این به معنی افزایش تلفات ثابت موتور می‌باشد.

علت اصلی بزرگ بودن موتور اصولاً عبارتست از محاسبه بار موتور در مرحله طراحی و ضرب آن در یک ضریب جهت اطمینان از کارکرد موتور در شرایط واقعی. پس از آن نتایج در اختیار مدیر پروژه قرار گرفته و او نیز جهت اطمینان این مقدار را در ضریبی دیگر ضرب می‌کند، بعد از آن هنگام خرید نیز درصورت موجود نبودن موتور با این ظرفیت، موتور یک سایز بزرگتر تهیه می‌شود (شکل۲-۴). مجموعه این عوامل موجب می‌شود تا موتور نصب شده در شرایط کاری زیر بار کار کند.

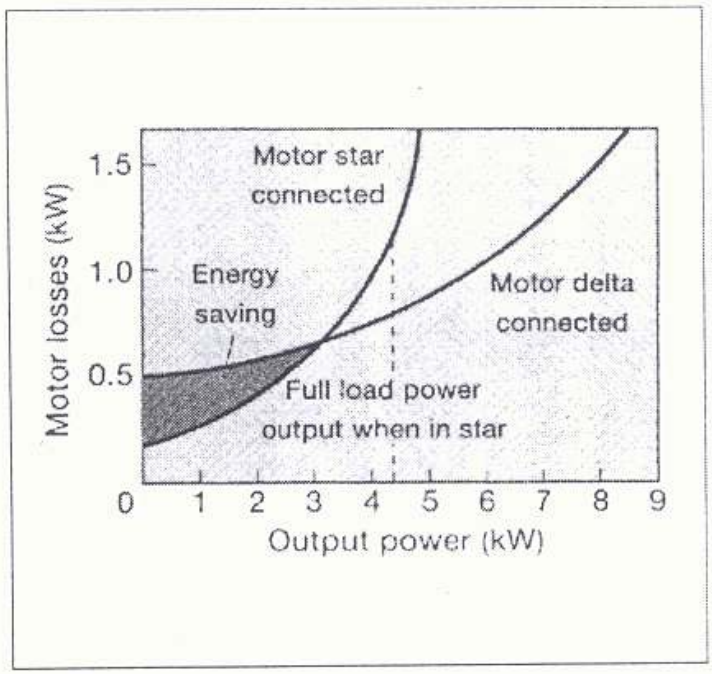


شکل۲-۴. دلایل نامناسب بودن سایز موتورها

جهت بهینه‌سازی در چنین مواردی ۳ راه وجود دارد. یکی تعویض موتور که به تنهایی توجیه پذیر نبوده و بیشتر در مواقعی صورت می‌پذیرد که موتور موجود سوخته و به جای تعمیر، تعویض می‌شود که علاوه بر تهیه موتور می‌توان از موتورهای جدید با راندمان بالاتر نیز استفاده نموده و در این حالت صرفه‌جویی خوبی حاصل می‌گردد. راه دیگر استفاده از راه اندازی‌های نرم با متدهای بهینه سازی مصرف انرژی می‌باشد که معمولاً هزینه آن از تهیه الکتروموتور جدید نیز

بیشتر بوده ولی فواید دیگر نظیر کنترل و حفاظت اضافی بر روی موتور را دارد. راه حل سوم استفاده از مبدل‌های ستاره مثلث و یا قرار دادن اتصال ستاره برای الکتروموتورهایی که به طور دائم در زیر ۴۰ درصد بار نامی کار می‌کنند. شکل۲-۵ تلفات موتور را در دو حالت اتصال ستاره و مثلث برای یک الکتروموتور ۷/۵ کیلووات نشان می‌دهد.

همانگونه که شکل۲-۵ نشان می‌دهد، اگر موتور در زیر ۴۰ درصد بار نامی کار کند، در صورت استفاده از اتصال ستاره به جای مثلث، تلفات موتور کاهش می‌یابد. ولی اگر بار موتور از حدود ۴۰ درصد بالاتر برود، استفاده از اتصال ستاره نتیجه معکوس خواهد داد و باعث افزایش تلفات موتور خواهد شد [۱۴].



شکل۲-۵. صرفه جویی انرژی بوسیله تعویض اتصال در یک موتور ۷/۵ کیلووات

۲-۷. کاربرد رایانه در صنعت ریخته‌گری

یکی از مهم ترین زمینه‌های توسعه علم و فناوری در ریخته‌گری، کاربرد رایانه و روش‌های عددی برای حل مسائل مکانیک سیالات و ترمودینامیک در جریان حرکت مذاب در راهگاه‌ها و قالب و انجماد مذاب در قطعه است.

این توسعه به ویژه موجب گردیده تا طراحان بتوانند از طریق طراحی روش‌های تولید به وسیله رایانه قبل از اقدام به ساخت مدل و ریختن فلز مذاب در قالب، به مشخصات ساخت و تولید قطعه دست یافته و از قابل تولید بودن قطعه اطمینان حاصل نمایند.

شبیه سازی‌های رایانه ای سبب شده تا طراحان بتوانند بدون صرف وقت و هزینه‌های اضافی، نسبت به اصلاح طرح‌های خود اقدام نموده و روش‌های بهینه تولید قطعه ریختگی مورد نظر خود را به دست آورند. نتیجه عملی استفاده از نرم افزارهای رایانه ای در طراحی فرایندهای تولید، دستیابی سریع به قطعه‌ای ارزان تر است. با استفاده از رایانه امروزه طول زمان ساخت یک محصول از ماه‌ها و سال‌ها به روزها و هفته‌ها کاهش یافته است. این تحول از طریق توسعه فناوری رایانه‌ای و پیشرفت در روش‌های شبیه‌سازی عددی تحقق یافته است.

نوآوری‌های بسیار در این حوزه موجب گردیده تا مهندسان و طراحان بتوانند محصولاتی را تولید کنند که دارای پیچیدگی‌های بالاتر و زمینه‌های کاربردی بیشتر می‌باشند. تولید محصول با سرعت بالاتر با صرف هزینه‌های کمتر، تنها با سرمایه گذاری در خرید رایانه و نرم افزارهای مربوطه میسر خواهد شد.

در ارتباط با کاربرد رایانه در ساخت محصول به مزایای زیر می‌توان اشاره کرد:

- بهینه سازی طرح و وزن قطعات
- بهبود در کارایی و کیفیت محصول
- کاهش زمان ساخت و تحویل محصول
- کاهش هزینه‌های تولید قطعه

از آنجا که امروزه توانایی رایانه‌ها روز به روز در حال افزایش بوده و در مقابل قیمت آنها کاهش یافته و استفاده از آن برای کاربران آسان تر می‌شود، کاربرد این ابزار در بسیاری از فناوری‌های ساخت و تولید با اقبال بسیاری همراه گشته است. به علاوه نرم‌افزارها دارای انتخاب‌های بسیار به همراه بانک‌های اطلاعاتی جامع‌تر شده‌اند، به گونه ای که محاسبات بسیار پیچیده ریاضی به همراه تحلیل‌های دشوار مهندسی را می‌توان به سهولت و درحداقل زمان ممکن با رایانه انجام داد. بر همین اساس کاربرد رایانه در شبیه‌سازی بسیار گسترده شده به گونه ای که انتظار می‌رود حتی کارگاه‌های کوچک در آینده نه چندان دور از این تکنولوژی استفاده کنند.

در عصر ریخته‌گری مدرن، بسیاری از مسایل پیچیده مهندسی نظیر: بهینه سازی سیستم‌های راهگاهی و تغذیه گذاری، طراحی برای محصولاتی که به سهولت قابل تولید یا مونتاژ باشند، شبیه‌سازی فرآیندهای تولید بر اساس تغییرات آماری، آنالیز پارامتریک تولید، آنالیز عمر خستگی قطعه و .... توسط روش‌های عددی حل می‌شوند. با وجود اینکه در حال حاضر جهت دستیابی به نرم افزارهایی که دارای حداکثر توانمندی و کارایی بوده و همه نیازهای طراحان، مهندسان و تکنولوژیست‌های ریخته‌گری را برآورده سازند، کارهای تحقیقاتی بیشتری مورد نیاز است، اما استفاده از رایانه و نرم افزارهای شبیه‌سازی، پیشرفت‌های شگرفی در صنعت ریخته‌گری جهان به وجود آورده است. لذا آشنایی ریخته‌گران با این فناوری پیشرفته از اهمیت زیادی برخوردار بوده و بدون تردید همگی آنان دیر یا زود ناگزیر به استفاده از این ابزار پیشرفته خواهند بود [۱۵].

۲-۸. استفاده از قراضه‌های تمیز

آلودگی‌های موجود در قراضه‌ها (شامل زنگ، روغن و ...) باعث به وجود آمدن سرباره و در نتیجه افزایش انرژی مصرفی می‌شود. بنابراین باید در کارخانجات ریخته‌گری حتی الامکان از قراضه‌های تمیز استفاده نمود و همچنین نگهداری قراضه‌ها باید به گونه ای باشد که از زنگ زدن آن‌ها جلوگیری شود.

استفاده از قراضه‌های تمیز آهنی (برای ریخته‌گری چدن و فولاد) منجر به افزایش هزینه‌ها شده و همچنین مستلزم سرمایه گذاری و تهیه تجهیزات تمیز کننده می‌باشد. قیمت قراضه‌های تمیز حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از قیمت قراضه‌های معمولی است. اما مقدار تلفات در صورت استفاده از قراضه‌های تمیز (با توجه به کاهش سرباره تولیدی) کمتر بوده و مصرف انرژی نیز در این حالت ۱۰ تا ۱۵٪ کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر است که در ریخته‌گری ماسه ای، ضایعات داخل کارخانه نیز آلوده به ماسه هستند بنابراین قبل از استفاده از این ضایعات در کوره ذوب باید با استفاده از تکنولوژی سندبلاست یا شات‌بلاست این قطعات را تمیز کرد[۱۶، ۱۵].

۲-۹. استفاده از قراضه‌های فشرده یا قراضه‌های خرد شده

یکی از عواملی که تأثیر بسزایی در میزان مصرف انرژی کوره‌ها دارد، ابعاد و شکل قراضه‌های ورودی به کوره می‌باشد. هر چه ابعاد قراضه‌های شارژ شده به کوره کوچکتر باشد، فرآیند ذوب با انرژی کمتری انجام می‌شود. از دیگر عواملی که در میزان مصرف انرژی در این بخش تأثیرگذار هستند می‌توان تعداد دفعات باز شدن درب کوره و زمان باز ماندن درب کوره را نام برد. ۹۰٪ علت باز ماندن بیش از حد دهانه کوره به خاطر پایین بودن دانسیته آهن قراضه در سبد حمل قراضه است که باعث می‌شود تقریبا هیچ یک از سبدهای شارژ کوره نتوانند از تمام ظرفیت خود برای جابجایی آهن قراضه استفاده کنند و در نتیجه برای شارژ کوره به تعداد سبدهای بیشتری نیاز است. دو عامل آخر خود وابسته به ابعاد قراضه‌ها هستند و با کوچک کردن ابعاد قراضه‌ها خود به خود قابل حل هستند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با وارد کردن قراضه خرد شده و قراضه‌های فشرده به داخل کوره، به دلیل زیاد شدن سطح تماس و امکان بستن درب کوره، سرعت ذوب بالا رفته، زمان ذوب و مصرف انرژی کاهش می‌یابد [۱۶، ۱۵].

۲-۱۰. استفاده از قراضه‌های پیشگرم شده

پایین بودن دمای مواد شارژ شده به کوره باعث پایین آمدن عملکرد کوره می‌شود، در حالی که پیشگرمایش یا خشک کردن قراضه‌ها قبل از ورود به کوره باعث حذف رطوبت و مواد فرار از شارژ کوره و لذا جلوگیری از انفجار، کاهش تولید سرباره،کاهش انرژی مورد نیاز برای ذوب و افزایش ظرفیت ذوب کوره می‌شود.

پیشگرمایش قراضه‌ها معمولاً توسط گاز طبیعی انجام می‌شود. همچنین می‌توان از گازهای احتراق کوره ذوب برای پیشگرمایش مواد ورودی استفاده نمود. کوره‌های ناپیوسته راندمان پایین تری نسبت به کوره‌های پیوسته دارند. زیرا در

کوره‌های ناپیوسته مقداری از حرارت در ابتدای هر سیکل، صرف بالا بردن دمای کوره می‌شود[۱۶، ۱۵].

۲-۱۱. کاهش دمای مذاب

با توجه به اتلافات دمایی که هنگام انتقال مذاب و تخلیه آن به داخل قالب صورت می‌گیرد، باید دمای مذاب را کمی بالاتر برد تا بعد از این تلفات، دما به اندازه کافی بالا باشد. کاهش دمای مذاب تولیدی مستلزم کاهش تلفات حرارتی هنگام انتقال و تخلیه مذاب است که برای این منظور موارد زیر توصیه می‌شود [۱۶]:

- ✓ پیشگرمایش پاتیلها، برای جلوگیری از افت دمای مذاب
- ✓ استفاده از درپوش برای پاتیلها، برای جلوگیری از تلفات تابشی
- ✓ نزدیک بودن کوره ذوب با محل قالب گیری برای کاهش زمان انتقال

۲-۱۲. تدوین برنامه منظم تعمیر و نگهداری تجهیزات فرآیندی و تأسیسات گرمایش و سرمایشی

یکی از مهمترین راهکارهای کاهش مصرف پیشگیرانه کم هزینه، اعمال برنامه تعمیر و نگهداری منظم برای تجهیزات موجود در کارخانه است.

قسمت عمده ای از تلفات انرژی در تجهیزات به دلیل اشکالاتی است که به مرور زمان در عملکرد آن‌ها ایجاد شده است. بسیاری از مشکلات موجود با اعمال برنامه تعمیر و نگهداری منظم به سادگی قابل رفع می‌باشد.

فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات انواع تجهیزات موجود در هر واحد تولیدی و خدماتی باید در چهارچوب یک نظام کامل، جامع و مناسب که به صورت نرم‌افزار و یا مدون توسط کارشناسان و صاحب‌نظران طراحی سیستم تهیه شده است، به مرحله اجرا درآید.

در مورد سیستم تعمیرات و نگهداری، تعمیرات و نگهداری اصلاح گرایانه[۱]، پیشگیرانه[۲] و پیشگویانه[۳] از رایج‌ترین انواع سیستم‌های تعمیرات هستند که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته شده است. این روش‌ها پس از طراحی تجهیز و معمولاً براساس نظر و تصمیم کارشناسان و متولیان امور نگهداری و تعمیرات، با توجه به توان فنی و مهندسی و منابع موجود، نوع سرویس و اهمیت دستگاه و برنامه‌های کلان مدیریت، انتخاب و پیاده‌سازی می‌شوند.

- ➢ سیستم تعمیر و نگهداری اصلاح گرایانه

در این استراتژی به تجهیزات اجازه داده می‌شود که تا زمانی که دچار ایراد و خرابی نشده اند، به کار خود ادامه داده و فقط زمانی به تعمیر آن اقدام می‌شود که خرابی رخ‌دهد.

معایب این شیوه نگهداری عبارتند از:

[1] Corrective or Breakdown Maintenance
[2] Preventive Maintenance
[3] Predictive Maintenance

- ✓ احتمال وقوع خسارت‌های ثانویه به سایر تجهیزات
- ✓ افزایش تلفات حامل‌های انرژی
- ✓ افزایش خرابی
- ✓ تعمیر و نگهداری بدون برنامه ریزی قبلی

اتخاذ این روش نگهداری در مواقعی امکان پذیر است که توقف‌های بدون برنامه ریزی باعث بروز مشکلات نشود، به علاوه قیمت تجهیزاتی که به این روش نگهداری می‌شوند زیاد نبوده و زمان تعمیرات آن‌ها نیز کم باشد.

- ➢ سیستم تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

این گونه سیستم تعمیر و نگهداری با هدف جلوگیری از توقفات بدون برنامه و خراب شدن ناگهانی تجهیزات که باعث نیاز به تعمیرات اصلاحی می‌گردد، صورت می‌گیرد. در واقع در این نوع سیستم بازرسی تجهیز پس از بازه زمانی ارائه شده از طرف سازنده و با توجه به زمان انقضای تجهیز[1] مورد توجه قرار می‌گیرد.

در سیستم تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، بازرسی و تعمیر تجهیز بر اساس احتمال تخریب در زمان‌های مختلف برنامه‌ریزی می‌شود. نکته مشترک برنامه‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، ارائه برنامه زمانی مشخص برای تعمیرات و نگهداری است. مهمترین اشکال این نوع سیستم تعمیر و نگهداری نیز عدم در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای مختلف عملیاتی در تنظیم برنامه زمانی مورد نظر و لذا احتمال ایجاد مشکل قبل از رسیدن زمان پیش بینی شده در برنامه است. این در حالی است که هزینه تعمیر پس از تخریب، حدود سه برابر بیش از تعمیر برنامه ریزی شده قبل از تخریب است.

- ➢ سیستم تعمیر و نگهداری پیشگویانه

این سیستم تعمیر و نگهداری بر مبنای مانیتورینگ سیستم برای آشکار شدن اشکالات اولیه سیستم و ممانعت از ایجاد اشکالات اساسی است. این سیستم با بهره گیری از اطلاعات حاصل از مانیتورینگ منظم شرایط واقعی، راندمان عملیاتی و سایر پارامترهای بیانگر کارایی یک تجهیز، به تعیین حداکثر بازه زمانی مطمئن بین تعمیرات می‌پردازد. در این روش ضمن حداقل شدن هزینه مربوط به تعمیر و نگهداری، حداکثر قابلیت اطمینان از عملکرد صحیح و بهینه سیستم فراهم می‌گردد. در این حالت از آنجا که پیشگیری از هرگونه اشکال در سیستم بر مبنای اطلاع از شرایط واقعی صورت می‌گیرد، مانیتورینگ صحیح و دقیق از مهمترین ابزارهای لازم برای تعمیرات پیشگویانه است. مهمترین حسن این نوع سیستم تعمیر و نگهداری، عیب یابی سریع تجهیزات مختلف است و بدیهی است که اگر تعمیرات مکانیکی در همان مراحل اولیه بروز عیب در تجهیز صورت گیرد، هزینه آن به مراتب کمتر از تعمیر اساسی یک تجهیز خراب است [۱۷، ۱۸].

[1] Mean-Time-to-Failure (MTTF)

۲-۱۳. عایق بندی مبدل‌های حرارتی، دیگ بخار، لوله‌های بخار و آب گرم

مقداری از انرژی سیال داغ در مبدل‌های حرارتی، دیگ‌های بخار، لوله‌های بخار و آب گرم به صورت تشعشع و جابجایی از پوسته به محیط اطراف منتقل می‌گردد، که با عایق بندی آن‌ها می‌توان مقدار این اتلاف را به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد. همچنین عایق‌ها باید مرتباً بازبینی شده و در صورت نیاز تعویض شوند.

energyenergy.ir

فصل سوم
راهکارهای پرهزینه بهینه سازی انرژی
در صنعت ریخته‌گری

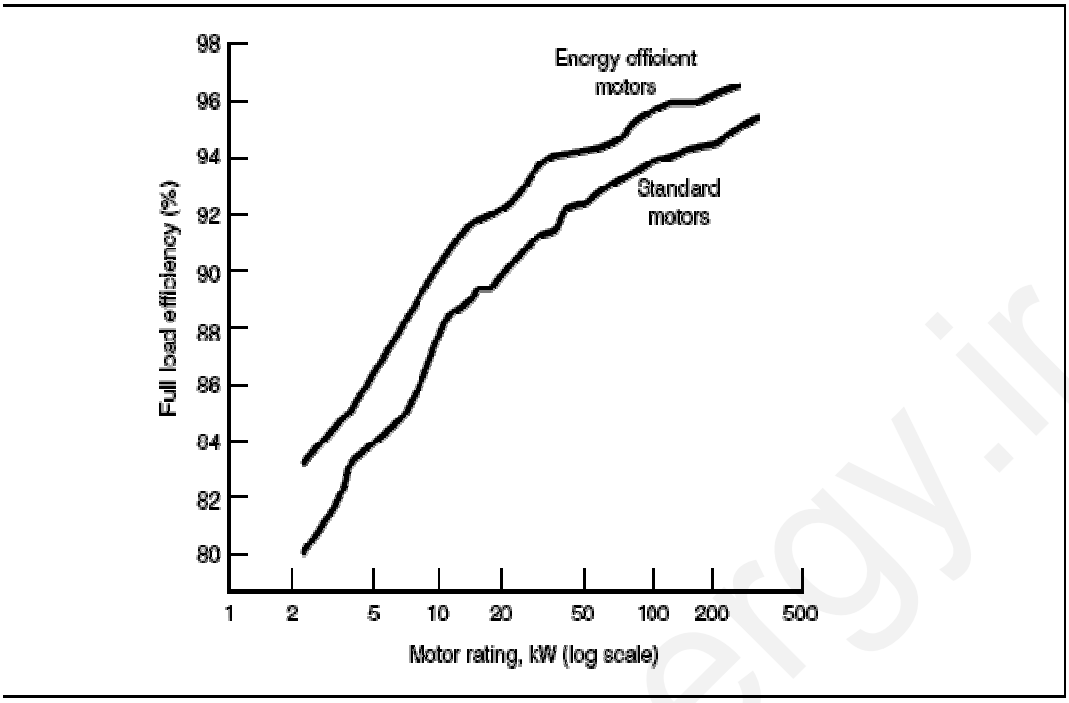
راهکارهای پرهزینه راهکارهایی را در بر می‌گیرد که نیاز به ایجاد تغییر اساسی در سیستم کارخانه (مانند تعویض کل کوره یا تغییر کلی در ساختار تجهیزات و ...) و استفاده از تجهیزات گران قیمت داشته که اجرای آن‌ها پرهزینه می‌باشد. این راهکارها در ادامه توضیح داده شده‌اند.

۳-۱. استفاده از الکترو موتورهای پر بازده

هدف استفاده از الکتروموتورهای پر بازده، کاهش تلفات داخلی الکتروموتورها می‌باشد. تلفات داخلی الکتروموتورها شامل موارد زیر است.

- ✓ تلفات مسی که وابسته به جریان بار است.
- ✓ تلفات هسته که مقدار ثابتی است و مستقل از جریان بار می‌باشد.
- ✓ تلفات مکانیکی که به سرعت وابسته است ولی مستقل از بار می‌باشد.

با انتخاب موتورهای الکتریکی پربازده مقادیر تلفات داخلی کمتر خواهند شد. این الکتروموتورها دارای طول هسته بیشتری هستند و در ساختمان هسته آنها از ورقهای با تلفات کم استفاده شده است. برای کاهش تلفات مس، سطح مقطع‌هادی بزرگتری برای آنها بکار رفته است و با توجه به اینکه در این الکتروموتورها حرارت کمتری تولید می‌شود، لذا اندازه فن خنک‌کاری، کوچکتر انتخاب شده که باعث کاهش تلفات مکانیکی آن خواهد شد. در شکل۳-۱ منحنی‌های بازده الکتروموتورهای استاندارد و الکتروموتورهای پربازده در اندازه‌های مختلف مقایسه شده‌اند.



شکل۳-۱. منحنی بازده موتورهای الکتریکی

موتورهای پربازده علاوه بر اینکه دارای کارایی بیش از ۲ درصد نسبت به موتورهای عادی هستند، جریان‌های بیشتری را نیز در هنگام راه اندازی تحمل و حرارت و نویز کمتری تولید می‌کنند. لازم به ذکر است هزینه خرید این موتورها بسیار زیاد می‌باشد و پیشنهاد می‌گردد هنگام تعویض موتورهای مستهلک از این راهکار استفاده شود. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که با توجه به راندمان موتورهای مختلف و قیمت موتورهای معمولی و راندمان بالا، استفاده از موتورهای راندمان بالا تا قدرت ۱۵ اسب بخار دارای صرفه اقتصادی بوده، و با توان‌های بیشتر توجیه اقتصادی ندارد [۱۳].

۳-۲. استفاده از جبران کننده‌های خازنی در صنعت

توان راکتیو، یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی و بهره برداری شبکه‌های الکتریکی در نظر گرفته می‌شود. اهمیت ضریب توان نیز مربوط به مولفه راکتیو بار می‌باشد، از این رو بهبود ضریب توان تجهیزات الکتریکی، باعث تنظیم بهتر ولتاژ، تلفات کمتر در خطوط توزیع و کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

تنظیم ولتاژ با وجود بارهایی که توان راکتیو مصرفی آن‌ها تغییر می‌کند، یک موضوع مهم به شمار می‌رود. این موضوع از این جهت دارای اهمیت است که تغییرات ولتاژ در محل بار، بر عملکرد مفید تجهیزات تأثیرگذار بوده و باعث

کاهش راندمان آن‌ها خواهد شد.

استفاده از خازن به عنوان تولیدکننده بار راکتیو، به منظور تنظیم ولتاژ و اصلاح ضریب توان به علت ارزانی و سادگی عملکرد آن بسیار متداول است. استفاده از بانک‌های خازنی موازی در کارخانه باعث کاهش جریان خط، افزایش ضریب توان، افزایش ولتاژ مصرف کننده و کاهش تلفات خواهد شد. بانک خازنی موازی، جریان تصحیح کننده ثابتی در محل بار تولید می‌کند که تمام مولفه راکتیو یا بخشی از آن را تأمین خواهد کرد [۱۰].

موتورهای القایی به علت جریان مغناطیس کنندگی مورد نیاز، باعث تغییرات ضریب توان شبکه می‌شوند و هر اندازه قدرت موتور بیشتر باشد، جریان مغناطیس کنندگی آن نیز بیشتر خواهد بود. ضریب توان موتور به بار آن بستگی دارد و بر حسب نوع، در نیمه بار بین ۰/۴۵ تا ۰/۶ و در بی باری به ۰/۲ نیز می‌رسد. بنابراین اگر بخواهیم مصرف راکتیو کارخانه را کاهش دهیم، توان نامی موتورها تا حد امکان نباید بیشتر از توان مکانیکی مورد نیاز انتخاب شود. لازم به ذکر است، از جبران کننده‌های خازنی به سه روش زیر استفاده می‌شود:

- ✓ جبران سازی انفرادی
- ✓ جبران سازی گروهی
- ✓ جبران سازی مرکزی

در ادامه به توضیح این سه روش پرداخته شده است.

۳-۲-۱. جبران سازی انفرادی

در این نوع جبران سازی توان راکتیو مورد نیاز بار در همان محل تأمین می‌شود، لذا خازن‌های جبران کننده باید در محل بار با تجهیز مورد نظر موازی شوند. ولی همیشه نمی‌توان از این نوع جبران سازی استفاده کرد، زیرا اغلب استفاده از خازن‌ها به صورت یکجا مقرون به صرفه تر خواهد بود.

۳-۲-۲. جبران سازی گروهی

در این روش به جای استفاده از تعداد زیادی خازن‌های کوچک برای هر دستگاه از یک خازن بزرگ یا یک بانک خازنی برای جبران سازی استفاده می‌شود. مزیت این روش نسبت به حالت قبل اقتصادی تر بودن آن است و برای مصرف کننده‌هایی که به صورت گروهی کار می‌کنند به کار می‌رود.

۳-۲-۳. جبران سازی مرکزی

در این روش چند خازن در تابلوی مخصوصی نصب می‌شوند و بر حسب نیاز تعدادی از آن‌ها به شبکه اصلی وصل می‌شوند. با توجه به در نظر گرفتن ضریب همزمانی در کارخانه، توان خازنی کمتری نسبت به جبران سازی انفرادی یا

گروهی مورد نیاز می‌باشد.

۳-۲-۴. تعیین قدرت خازن مورد نیاز

برای به دست آوردن قدرت خازن مورد نیاز برای جبران توان راکتیو و اصلاح ضریب توان، با فرض این که توان ظاهری مصرف کننده S_1 و ضریب توان اولیه $cos\ \varphi_1$ باشد، جهت افزایش ضریب توان به $cos\ \varphi_2$ به صورت زیر عمل می‌کنیم.

$$Q_1 = P_1.tg(\varphi_1)$$
$$Q_2 = P_1.tg(\varphi_2)$$
$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1.(tg(\varphi_1) - tg(\varphi_2))$$

P_1 : توان اکتیو بار (KW)

Q_c : توان خازن مورد نیاز برای بهبود ضریب توان می‌باشد(KVAR)

همچنین برای به دست آوردن قدرت خازن مورد نیاز برای اصلاح ضریب توان می‌توان با تعیین ضریب K با استفاده از جدول۳-۱ و با توجه به رابطه زیر مقدار توان خازن مورد نیاز را تعیین نمود[۱۰].

$$Q_c = K\ .P_1$$

energyenergy.ir

جدول۳-۱. تعیین ضریب K (KVAR/ KW)

	final cosφ												
initial cosφ	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.01 5	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.80		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.81		0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82		0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698
0.83		0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672
0.84		0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85			0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484

۳-۲-۵. تهویه خازن‌ها

خازن در برابر افزایش دما بسیار حساس است و همواره در بار دایمی خود کار می‌کند. بنابراین در حالت اضافه ولتاژ (که به معنای افزایش بار خازن و در نتیجه افزایش دمای آن است) نباید وارد مدار شود. خازن‌ها معمولاً طوری طراحی می‌شوند که اضافه درجه حرارت زمان کار آن‌ها نسبت به تجهیزات دیگر کمتر است و این به خاطر عملکرد دایمی خازن‌ها در بار کامل می‌باشد. بنابراین لازم است که به آرایش نصب خازن‌ها توجه شود تا تهویه کافی و تبادل حرارت انجام پذیرد. همچنین قراردادن خازن‌ها در مکان‌های خنک تر و استفاده از فن در خنک سازی نیز به منظور افزایش طول عمر خازن‌ها توصیه می‌شود[۱۰].

۳-۳. استفاده از کوره نگهدارنده مذاب پیمانه ای[1]

معمولاً مذاب تولیدی قبل از تزریق به قالب‌ها وارد یک کوره نگهدارنده می‌شود که این کار منجر به یک عملیات

[1] Dosing Furnace

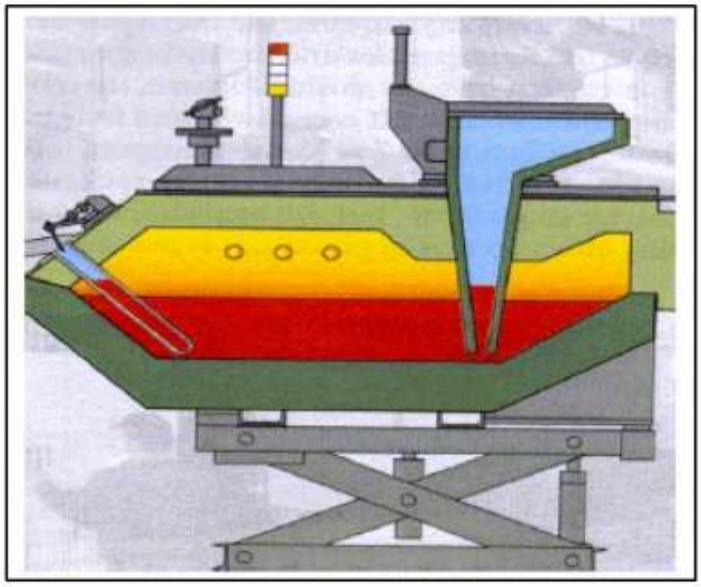
پیوسته با ترکیب و کیفیت مذاب همسان می‌شود. لازم به ذکر است که کوره‌های نگهدارنده به علت مصرف انرژی نسبتاً بالا، در کل باعث کاهش کارآیی عملیات ریخته‌گری می‌شوند. بنابراین در یک عملیات ایده‌آل در ریخته‌گری، بعد از ذوب شدن فلز در کوره ذوب، بلافاصله مذاب وارد قالب‌های ریخته‌گری می‌شود.

در صورت نیاز فرآیند به کوره نگهدارنده کوره‌های پیمانه ای مناسب می‌باشند. این کوره‌ها نوعی کوره نگهدارنده بسته با یک خروجی هستند که برای توزیع مقدار دقیقی از مذاب به خط قالب گیری استفاده می‌شوند. مزیت کوره‌های پیمانه ای این است که به خاطر ساختار بسته ای که دارند، اتلاف انرژی را حداقل کرده و از اکسیداسیون اضافی مذاب جلوگیری می‌کنند. انرژی مورد نیاز در این کوره‌ها برای نگهداری از مذاب، نسبت به کوره‌های بوته ای تقریباً یک پنجم می‌باشد. در اروپا کوره‌های پیمانه ای جایگزین کوره‌های پاتیلی در ریخته‌گری تحت فشار شده اند، زیرا مقدار دقیقی از مذاب را در دمای مناسب منتقل می‌کنند [۱۵].

۳-۱. استفاده از پمپ‌های گردشی[1]

تلاطم نداشتن و راکد بودن مذاب در کوره‌ها باعث متمرکز شدن حرارت در سطح مذاب و در نتیجه بالارفتن دمای آن و همچنین افزایش اکسیداسیون سطحی و تولید بیشتر سرباره می‌شود. اختلاف دمای به وجود آمده در مذاب راکد تا ^{o}C ۱۰۰ نیز می‌رسد که در صورت اختلاط مذاب این مقدار را می‌توان تا ^{o}C ۴ کاهش داد. با استفاده از این نوع پمپ‌ها می‌توان مذاب را به حرکت درآورد و درنتیجه اتلاف انرژی از سطح کاهش پیدا می‌کند. یکسان بودن دمای مذاب باعث افزایش نرخ ذوب، کاهش زمان ذوب، بالا بردن کیفیت محصول و کاهش مصرف انرژی می‌شود. به علاوه، عمر نسوزها نیز با این کار افزایش می‌یابد، زیرا بیشتر حرارت به فلز منتقل شده و مقدار کمتری از آن جذب نسوزها می‌شود [۱۵].

[1] Mechanical circulating pumps



شکل۳-۲. نمایی ساده از کوره پیمانه ای

شکل۳-۳. نمایی ساده از پمپ‌های گردشی

۳-۲. استفاده از تکنولوژی‌های نوین ذوب

چندین تکنولوژی جدید برای ذوب در ریخته‌گری در دست تحقیق بوده که با توجه بـه اهمیـت روزافـزون انـرژی و کمبود ذخایر انرژی فسیلی، این تکنولوژی‌ها بسیار مورد توجه هستند. هر یک از این تکنولوژی‌ها مزایـا و معایـب خـاص

خود را دارند. در ادامه به توضیح این تکنولوژی‌ها و بررسی مزایا و معایب آن‌ها پرداخته شده است [۱۶،۱۵،۱۹].

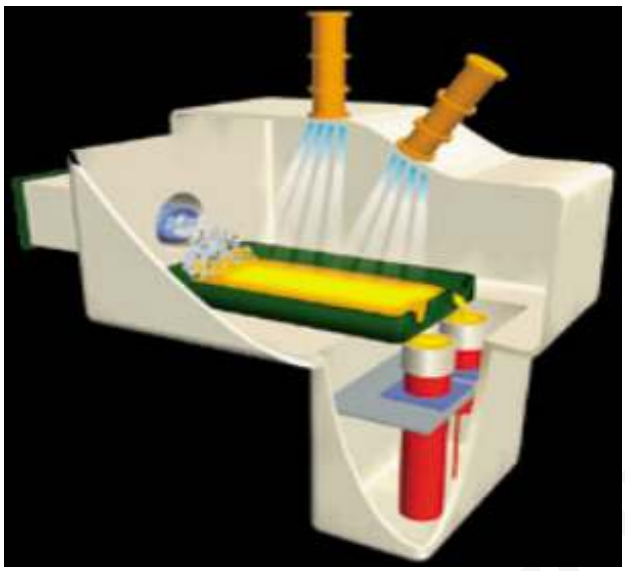
۳-۲-۱. ذوب با استفاده از اشعه الکترونی[1] (EBM)

این کوره‌ها از دستگاهی به نام تفنگ الکترونی[2] (که اشعه‌های الکترونی ساطع می‌کند) برای ذوب استفاده می‌کنند. در این فرآیند قطعات فلز متراکم توسط اشعه‌های پرتوان الکترونی، به صورت لایه به لایه از پودر فلز ساخته می‌شود. بدین ترتیب که هر لایه به صورت جداگانه و دقیقاً به شکل هندسه مورد نظر ذوب می‌شود. تکنولوژی ذوب با اشعه‌های الکترونی با به کاربردن انرژی بالا، ظرفیت بالایی در ذوب و تولید محصولات ایجاد می‌کند.

قطعه فلزی تحت دمای بسیار بالا و در خلأ ساخته می‌شود که در نتیجه آن تنش هایی که معمولاً در هنگام ساخت قطعات ایجاد می‌شود، در قطعات ساخته شده بدین روش ایجاد نخواهد شد. قطعات ساخته شده بدین روش نسبت به سایر قطعات ریخته‌گری از ویژگی‌های بهتری برخوردار بوده و مشابه قطعات شکل پذیر، قابلیت چکش‌خواری دارند.

این روش در سال ۱۹۰۷ برای ذوب فلزات با دمای ذوب بالا مانند تنگستن و تانتالیوم[3] معرفی شد. این تکنولوژی تنها تکنولوژی است که امکان مانیتور کردن کیفیت مذاب را در طی عملیات دارد، که این قابلیت منجر به افزایش کیفیت محصول و کاهش ضایعات می‌شود. امروزه این کوره در مقیاس آزمایشگاهی استفاده می‌شود و امکان‌سنجی استفاده از آن در مقیاس صنعتی در دست تحقیق می‌باشد. یکی از معایب این روش، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالای آن می‌باشد. به علاوه قرار گیری مواد اولیه در این روش باید بسیار دقیق باشد. شمایی از ذوب با اشعه الکترونی در شکل۳-۴ آورده شده است.

[1] Electron beam melting (EBM)
[2] Electron gun
3 tungsten and tantalum



شکل۳-۴. شمایی از فرآیند ذوب با اشعه الکترونی

۳-۲-۲. هیترهای شناور[1]

در حال حاضر هیترهای شناور را می‌توان برای ذوب روی به کار گرفت، اما این هیترها هنوز قابلیت ذوب فلزات با دمای ذوب بالاتر از روی را دارا نیستند. پوشش سرامیکی محافظ این هیترها باعث کاهش راندمان ذوب می‌شود. تحقیقات زیادی برای استفاده از این هیترها در صنایع ریخته‌گری در حال انجام است. برای این کارسعی شده که فلاکس حرارتی این هیترها را افزایش دهند تا قابلیت ذوب فلزات با دمای ذوب بالا را نیز دارا شوند.

۳-۲-۳. گرمایش مادون قرمز[2] (IR)

گرمایش مادون قرمز، یک روش سریع برای گرمایش بیلت هاست. در این تکنولوژی از لامپ‌های هالوژن تنگستن استفاده می‌شود که می‌توانند در دمای معمولی روشن شده و در عرض کمتر از یک ثانیه به ماکزیمم توان خود برسند. این گرمکن‌ها می‌توانند فلاکس حرارتی به بزرگی ۲۰ تا ۴۰ W/cm^2 را برآورده کنند. لامپ‌های مادون قرمز می‌توانند در کمتر از یک ثانیه خاموش شده و همچنین می‌توانند انرژی الکتریکی را با راندمان بزرگتر از ۹۰٪ به انرژی تابشی تبدیل کنند. این روش منجر به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در زمان و هزینه انرژی مصرفی می‌شود. همچنین مقدار ضایعات در این روش به علت توزیع دمای یکنواخت توسط گرمایش مادون قرمز، کاهش می‌یابد.

شمایی از ذوب با تابش مادون قرمز در شکل۳-۵ آورده شده است.

[1] Immersion heater
[2] Infrared heating

شکل۳-۵. شمایی از فرآیند ذوب با استفاده از تابش مادون قرمز

۳-۲-۴. ذوب توسط امواج ماکروویو[1]

این فرآیند ابتدا برای ذوب اورانیوم معرفی شد، اما امروزه برای فلزات زیادی استفاده می‌شود. نفوذ امواج ماکروویو به داخل فلز ذوب شونده بسیار زیاد است، در حالی که در روش‌های قبلی گرما ابتدا به سطح خارجی و سپس به سطح داخلی فلز منتقل می‌شود. بنابراین سرعت انتقال حرارت در این روش بسیار بیشتر از روش‌های سنتی است که این مسئله باعث صرفه جویی در زمان و انرژی مصرفی می‌شود.

اگرچه تصور می‌شود که فلز امواج ماکروویو را بازتاب دهد، اما در واقع فلزات در دمایی برابر با سه چهارم دمای ذوب خود شروع به جذب امواج ماکروویو می‌نماید.

در این روش، شارژ فلزی ابتدا وارد یک بوته سرامیکی درباز می‌شود. این بوته در یک محفظه عایق قرار دارد که کاملاً آن را می‌پوشاند. دیواره‌های گرم شده این بوته، محتوای فلز بوته را با استفاده از انتقال حرارت تشعشعی، هدایتی و جابجایی گرم می‌کنند. محفظه عایق اطراف این بوته باعث افزایش راندمان انرژی سیستم ماکروویو می‌شود. این روش می‌تواند هزینه‌های ذوب را تا ۳۰٪ کاهش دهد.

از معایب این روش، این است که فلزات در دماهای معمولی امواج ماکروویو را جذب نمی کنند. به علاوه برای ذوب توسط امواج ماکروویو نیاز به تابش امواج با طول موج حدود ۲/۳۵ میکرون می‌باشد که بسیار گران است.

[1] Microwave Melting

۳-۲-۵. گرمایش پلاسما[1]

پلاسما به مجموع گازهای ذرات شارژ شده الکتریکی، مانند الکترون‌ها و پروتون‌ها گفته می‌شود. این ذرات حاوی انرژی بالایی هستند. وقتی جریان یونیزه شده پلاسما با سطح فلز تماس پیدا کند، انرژی آزاد می‌کند و فلز ذوب می‌شود.

ثابت شده است که فرآیند ذوب پلاسما از لحاظ انرژی مؤثرتر از روش‌های قدیمی بوده و می‌تواند درجه حرارت را بسیار سریع تر بالا ببرد. با توجه به این انتقال حرارت سریع، فرآیند ذوب نیز بسیار سریع خواهد بود.

عملیات ذوب در کوره‌های پلاسمای ذوب آلومینیوم، تقریباً ۶۰٪ سریعتر از سرعت ذوب در ذوب کننده‌های متداول می‌باشد.

شمایی از گرمایش پلاسما در شکل۳-۶ آورده شده است.

شکل۳-۶. شمایی از فرآیند گرمایش با استفاده از پلاسما

۳-۲-۶. کوره‌های خورشیدی[2]

اولین کوره خورشیدی در قرن هجدهم در فرانسه ساخته شد. متداولترین سیستم یک کوره خورشیدی متشکل از دو آینه تخت و کروی می‌باشد. نور خورشید به آینه تخت رسیده و توسط این آینه به آینه کروی بازتابیده می‌شود. در

[1] Plasma heating
[2] Solar furnace

واقع انرژی خورشید از طریق این آینه‌ها به یک گیرنده[1] می‌رسد. این گیرنده انرژی خورشیدی را ذخیره کرده و به تجهیز مورد نظر انتقال می‌دهد. طبق قوانین اپتیک هر گاه یک دسته پرتوی موازی محور آینه با آن برخورد نماید، در محل کانون متمرکز می‌شوند و به این ترتیب انرژی حرارتی گسترده خورشید در یک نقطه جمع می‌شود که این نقطه به دماهای بالایی می‌رسد. این تکنولوژی می‌تواند گرمایی به بزرگی MWh ۱ را تأمین کند. امروزه پروژه‌های متعددی در زمینه کوره‌های خورشیدی در سراسر جهان در حال طراحی و اجراء می‌باشد.

یکی از جنبه‌های مهم سیستم‌های خورشیدی این است که کاملاً اتوماتیک بوده و نیاز به اپراتور ندارند. اگرچه کوره‌های خورشیدی برای ذوب فلزات در زمینه راندمان انرژی بسیار ایده آل هستند، اما بسیار پر هزینه بوده و همچنین فقط در روزهای آفتابی قادر به کار هستند. همچنین کوره‌های خورشیدی نیاز به زمینی با مساحت بالا دارند.

[1] Receiver

مراجع

[۱] مرجع کاربردی مدیریت انرژی، تدوین مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، گروه نفت و انرژی با همکاری شرکت توسعه بهره وری انرژی فناوران، ناشر دانشگاه صنعتی شریف، مرکز مطالعات تکنولوژی ۱۳۸۵

[2] Jim Bettinghaus, P.E., Thomas P. Kunes, P.E., John Nicol, P.E., Doug Presny, P.E. , Craig Schepp, Nate Altfeather; " Metal Casting Industry Energy Best Practice Guidebook" ; Focus on Energy, 2006

[۳] مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، " معیارها و مشخصات فنی مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی در صنایع ریخته‌گری چدن- روش قالب ماسه ای" ICS:29، چاپ اول ۱۳۸۸

[۴] مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، " معیارها و مشخصات فنی مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی در صنایع ریخته‌گری فولاد- روش قالب ماسه ای" ICS:29، چاپ اول ۱۳۸۸

[5] GEMCO, International Financial Corporation, "Resource Efficiency in the Ferrous Foundry Industry in Russia : Benchmarking Study", 2011.

[6] American iron & steel institute

[7] K.K.Singhal ,"Energy Efficiency in Steel Industry in Steel Industry and clean Development Mechanism(CDM)".

[8] www.wikipedia.org, OEE and TEEP

[9] Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants : Technical Application Papers – ABB

[۱۰] روشهای مدیریت و صرفه جویی انرژی الکتریکی : گروه مولف حسین بهرامی، محمدعلی شفیع زاده، محمودرضا قهارپور و..

[11] Voltage Unbalance and Motors: pacific gas and electric company

[12] Reducing power factor cost, motor.doe.org

[13] Determining electric motor load and efficiency, motor.doe.or g

[14] Focus on optimizing life time performance on motors “Relof Timmer, Mikko .[Helinko, Ritva Eskola

[15] BCS Incorporated, "Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry", Prepared for ITP Metal Casting, November 2005.

The Energy conservation Center Japan, "Seminar On Energy Conservation In Iron Casting Industry", 1998.