

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
<b>فصل اول</b>	
1	مقدمه
2	چدن نشکن
<b>فصل دوم</b>	
11	روشهای عملیات کروی سازی
<b>فصل سوم</b>	
18	نگرشی بر فرایند افزودن منیزیم در راهگاه
<b>فصل چهارم</b>	
43	کاربرد قطعات چدن نشکن در صنعت
<b>فصل پنجم</b>	
45	تولید میل لنگ به توسط افزودن منیزیم از طریق راهگاه
46	منابع

## فصل اول

### مقدمه

آهن فلزی است با قدمت بالا به دوران بابلها می باشد در مقایسه با سایر فلزات این فلز را می توان با فن ذوب ساده و با قیمت کم تولید تا دماهای نسبتاً بالاتری از قطعه ذوب گرم نمود تا سیالیت بالا حاصل و امکان تولید قطعات ریختگی پیچیده و نازک فراهم گردد. آهن دارای انقباض معتدل در حین انجماد بوده و می تواند به آسانی ماشینکاری شده و همچنین دارای ویژگی مقاومت به سایش و جذب ارتعاش بالانس نسبت به سایر فلزات می باشد .

متأسفانه در اغلب چدن‌ها مقداری از کربن در زمینه به صورت گرافیت ورقه ای با اندازه و اشکال مختلف وجود دارد .

وقتی مواد تحت تنش قرار گرفته و شکست شروع می شود و ورقه های گرافیت به انتشار ترک اولیه کمک نموده و شکست کامل با انعطاف پذیری اندک و یا بدون انعطاف پذیری رخ خواهد داد. با کنترل ترکیب شیمیایی و عملیات ریخته گری و سپس عملیات حرارتی کربن می تواند به صورت کربن تمپر رسوب و با ویژه اثری تردی گرافیت ورقه ای را تعدیل نماید . از آنجاییکه تغییر گرافیت ورقه ای به کربن تمپر موجب افزایش انعطاف پذیری می گردد این نوع چدن ، چدن چکش خوار یا چدن داکتیل نامیده می شود

واحدهای مختلف ریخته گری عموماً موفق به تولید چدن با گرافیت کروی شده اگر چه تولیدات اولیه آنها نشان می دهد محصول همیشه قابل قبول نبوده و نیاز با مراقبت دقیق برای اطمینان از گرافیت مورد نظر را دارد .

از زمان معرفی چدن به عموم در سال 1948 تغییرات زیادی در هر مرحله از فرایند تولید چدن نشکن از جمله تهیه فلز ، عملیات ، تلقیح و کنترل کیفیت به منظور اصلاح استحکام و کاهش قیمت تولید بوجود آمده است تا چدن نشکن را به عنوان یک ماده مهندسی قابل رقابت در تجارت امروز مطرح نمایند .

در طرح فوق هدف این است که تلقیح در چدن که از راههای مختلفی امکان پذیر است را مورد بررسی قرار دهیم و تلقیح از طریق قرار دادن منیزیم در راهگاه که بالاترین در صد بازیابی منیزیم را دارد مد نظر و ارزیابی قرار دهیم .

### **چدن نشکن یا چدن داکتیل**

چدن نشکن یا چدن با گرافیت کروی ، خانواده ای از چدن‌ها هستند و همانطور که از اسمشان پیداست چدن شکل گرافیت در آنها کروی است همین کروی بودن گرافیت ها باعث افزایش استحکام و چقرمگی در مقایسه با چدن‌ها با گرافیت ورقهای می گردد.

اصولاً چدن نشکن با افزودن منیزیم در مذاب تولید می شود (چون منیزیم در دمای بالا نتیجه می شود . معمولاً از آلیاژهای منیزیم استفاده می شود ) برای کروی شدن گرافیت های قطعاتی که در قالبهای ماسه ای تولید می شود مقدار % 0.04-0.07 منیزیم

باقیمانده در قطعات ریخته شده کافی می باشد برای قطعاتی که در قالبهای فلزی تولید می شوند (مانند لولا ریزی) مقدار % 0.02 منیزیم باقیمانده کافی می باشد. افزودن سدیم با مقدار جزئی در آلیاژ منیزیم شکل گرافیت را بهبود می بخشد. همانطور که گفته شد برای کروی نمودن گرافیت ها به منیزیم احتیاج داریم که اگر میزان منیزیم از حد مورد نظر کمی کمتر باشد، گرافیت های فشرده با استحکام و چقرمگی پایین تری بدست می آید. اگر مقدار منیزیم باقیمانده باز هم کمتر شود فقط گرافیت ورقه ای تولید می شود. اصولاً چدن نشکن در مقایسه با چدن گرافیت ورقه ای، تمایل با تبرید بیشتری دارد و برای بدست آوردن ساختار عاری از کاربید مخصوصاً در مقاطع نازک، لازم است جوانه زایی با آلیاژ سیلیسیم انجام شود. وقتی که چدن نشکن ریخته می شود اگر کاربید در ساختار ظاهر شود با عملیات حرارتی مناسب می توان گرافیت ها را کروی نمود. اندازه گرافیت های کروی می تواند روی خواص مکانیکی تاثیر بگذارد. اندازه گرافیت ها به دو پارامتر بستگی دارد.

1- آهنگ سرد شدن یا اندازه سطح مقطع. چون مقاطع نازک سریع سرد می شوند، تعداد بیشتری گرافیت کروی خواهند داشت.

2- جوانه زنی با آلیاژ سیلیسیم، افزایش تعداد گرافیت های کروی کاهش تمایل به تبریدی بودن مخصوصاً در مقاطع نازک را به باعث می شود. افزایش مقدار جوانه زا باعث افزایش تعداد گرافیت های کروی می شود.

در حین ریخته گری می تواند چدنهایی با ساختار زمینه فریت ، پرلیت ، مخلوط فریت - پرلیت ، آستنیت ، بینایت و مارتنزیت تولید نمود . چدنهای نشکن پرلیتی استحکام بالایی دارند ولی چقرمگی آنها کمتر است . چدنهای نشکن فریتی استحکام کمتری دارند ولی ازدیاد طول نسبی آنها بیشتر و مقاومت به ضربهشان خوب است .

## عوامل موثر بر روی خواص مکانیکی چدنهای نشکن

### سیلیسیم

سیلیسیم عنصری است که تاثیر بسیار زیادی در ساختار و خواص مکانیکی چدنهای نشکن داشته و کنترل آن به منظور دستیابی به ساختارهای مطلوب چه در حالت ریخته گری و چه به صورت عملیات حرارتی شده الزامی است . بطور معمول میزان سیلیسیم در چدنهای نشکن % 1.8-2.8 بوده و با افزایش آن اولاً احتمال تشکیل کاربیدهای یوتکتیک کاهش یافته و ثانیاً در تعیین ساختار زمینه چه در حالت ریخته گری و چهار حالت عملیات حرارتی شده موثر می باشد . بطوری که ساختار پرلیت به دست فریت متمایل می گردد . البته مقدار نسبی فریت و پرلیت با حضور یا عدم حضور عناصر دیگر و مقدار آنها بستگی دارد . با افزایش میزان سیلیسیم ، گرافیت زائی از پرلیت و کاربید یوتکتیک در حین عملیات حرارتی ، سریع تر صورت می گیرد . افزایش سیلیسیم موجب افزایش تعداد گرافیت های کروی و کاهش اندازه هسته های یوتکتیک در چدنهای نشکن خواهد شد .

## تأثیر سیلیسیم روی خواص مکانیکی چدنهای نشکن فریتی

در حالیکه افزایش میزان سیلیسیم در چدن نشکن موجب افزایش مقدار فریت و کاهش مقدار پرلیت می گردد، استحکام کششی کاهش و ازدیاد طول نسبی افزایش می یابد .

### مقاومت به ضربه

با افزایش میزان سیلیسیم ، دمای تبدیل به شکست نرم یا ترد افزایش می یابد . فسفر و منگنز نیز اثر مشابهی دارند .

شروع تبدیل شکست نرم با تردی در چدنهای نشکن با افزایش سیلیسیم از دمای معمولی اطاق بالاتر است .

در شکست های نرم ، شکست از مرزخانه های فریتی شروع شده و در مسیر گودال های گرافیت ادامه پیدا می کند و به همین دلیل شکست نرم سطح خاکستری دارد .

### استحکام کششی

سیلیسیم فریت دارد محکم و سخت می نماید ولی در چدنهای نشکن فریتی تحت تنش های کششی میزان سیلیسیم بالاتر از حد ذکر شده 2.8٪ احتمال تبدیل شکست نرم به ترد را افزایش می دهد .

## تأثیر سیلیسیم روی خواص مکانیکی چدنهای نشکن پرلیتی

با افزایش میزان سیلیسیم در چدنهای نشکن پرلیتی ، مقاومت به تغییر شکل در دمای معین افزایش می یابد و نیز دمای تبدیل شکست نرم به ترد افزایش می یابد .

## تأثیر درجه حرارت بر تولید چدن نشکن

کنترل دما برای کروی شدن در حین تولید چدن نشکن الزامی است .

1- حداکثر دمایی که مذاب اولیه به آن رسیده است . برای حفظ یک فوق ذوب ثابت از یک ذوب با ذوبی دیگر ، ذوب اولیه باید کنترل گردد. حداکثر دمای ذوب اولیه نباید از 15000 بالا تر برود . دماهای بالاتر از آن باعث از بین رفتن جوانه هایی که در مذاب موجود است می گردد.

2- دمای کروی کردن : برای روش ساندویچی دمای مناسب 1480 درجه و برای روش افزودن منیزیم در راهگاه 1450 توصیه می شود .

3- دمایی که جوانه زایی انجام می گردد . قالب و راندمان جوانه زایی بستگی با دمای مذاب دارد اگر دما پایین باشد ممکن است تمام مواد جوانه زا را حل نشود . اگر دما بالا نرود چینه های جوانه زنی می تواند فاسد گردیده و عملیات جوانه زایی از بین برود . برای جوانه زنی دمای 450-1400 توصیه می شود .

4- دمایی که در آن چون ریخته می شود ، دمای ریختن قطعه عمدتاً به ضخامت قطعه بستگی دارد . دمای ریختن مناسب باعث بدست آوردن قطعه با دانه های ریز و بدون عیب کشیدگی یا مک و حذف رشد دندریتی می گردد . اصولاً دمای مناسب برای ریختن اکثر قطعات 1380-1420 می باشد .



## عناصر کرووی کننده

یکی از موضوعات اصلی تحقیق از شروع تولید چدن نشکن عناصری بوده است که تشکیل گرافیت کرووی را ترغیب می نمایند. از عناصر شناخته شده در تولید چدن نشکن فقط منیزیم و سدیم به عنوان عناصر کم یاب افزودنی مورد بحث می باشد و سایر عناصر با دلیل اقتصادی از بحث حذف گردیده اند. (این عناصر در حال حاضر به منظور استفاده در تولید چدن نشکن بیش از حد گران بوده و یا قادر به انجام همه وظایف یک عنصر کرووی کننده از جمله اکسیژن زدایی و سولفور زدایی نمی باشند لذا کرووی شدن به صورت مطلوب انجام نمی شود).

### منیزیم

از زمان شروع تولید چدن نشکن از منیزیم به عنوان اصلی ترین کرووی کننده استفاده شده است. استفاده از آن به دلایل اقتصادی و سازگاری با نتیجه تولید می باشد. اگر چه منیزیم دارای فشار بخار بالا و نقطه جوش 1107 و همچنین حلالیت کم در آهن است. در نتیجه ورود منیزیم به آهن مذاب می توان با یک واکنش پر سر و صدا و یا زمانی کم سر و صدا باشد. در تولید چدن نشکن محدوده معمول منیزیم باقیمانده پس 0/02 و 0/06٪ می باشد

حدود منیزیم افزوده شده بر اساس توانایی بازیابی است که خود تابع عوامل بسیاری از جمله: انواع آلیاژهای افزودنی، دمای عملیات عمق فلز در پاتیل عملیات، روش عملیات

و حد اکسیژن و گوگرد در فلز عمل شده می باشد. زمان نگهداری طولانی همچنین یک از عامل در افزودن می باشد. در 1482 درجه سانتیگراد تلفات منیزیم با مقدار 0/001 در صد می باشد. منیزیم یک اکسیژن زدای قوی است. برای مثال، یک آهن عمل نشده یا یک مقدار اکسیژن 135ppm وقتی تحت عملیات کرووی شدن قرار می گیرد یک کاهش در مقدار اکسیژن تا حد 30ppm را نشان می دهد. (اکسیژن به شکل اکسید منیزیم حضور دارد).

منیزیم همچنین با گوگرد تشکیل سولفید منیزیم می دهد. با این دلیل مقدار منیزیم باقیمانده در آهن پایه گوگرد بالا، نسبت به آهن یا به گوگرد کمتر گزارش شده است. منیزیم باقیمانده بالا و آهن پایه با گوگرد کم تشکیل کاربید آهن را ترغیب می نماید. بنابراین کنترل منیزیم باقیمانده از اهمیت بالایی برخوردار است.

برای تعیین مقدار منیزیم افزودنی با آهن به منظور کرووی کردن موثر مقدار منیزیم مورد نیاز به منظور اکسیژن زدایی گوگرد باید به منیزیم باقیمانده، مورد نیاز برای کرووی کردن و همچنین منیزیم تلف شده در اثر تبخیر اضافه گردد. در واقع منیزیم مورد نیاز برای اکسیژن زدایی نسبتاً کم بوده و می تواند در محاسبات نادیده گرفته شود.

$$mg_A = mg_s + mg_R + mg_v \quad -1$$

Mga = منیزیم افزوده به در صد

Mgs = منیزیم مورد نیاز برای گوگرد زدایی به در صد

$Mgr =$  منیزیم باقیمانده مورد نیاز برای کروی کردن به در صد

$Mgv =$  اتلاف منیزیم با تبخیر به در صد

مقدار منیزیم استفاده شده در  $mga$  شامل مقدار منیزیم افزوده شده منهای مقدار منیزیم

تلف شده در اثر تبخیر می باشد یا :

$$mg_A - mg_v = mg_u \quad -2$$

در صد بازیابی منیزیم  $mg_{RC}$  نسبت بین مقدار مصرفی و مقدار اضافه شده ضرب در 10

می باشد یا :

$$mg_{RC} = \frac{mg_a * 100}{mg_A} \quad -3$$

اما از معادله 1

$$mg_A - mg_v = mg_s - mg_R$$

بنابراین از معادله 2

$$mg_s + mg_r = mg_a \quad -5$$

و از معادله 3

$$mg_{rc} = \frac{mg_s + mg_r * 100}{mg_a} \quad -6$$

پس از جابجایی

$$mg_a = \frac{mg_s + mg_r * 100}{mg_{rc}} \quad -7$$

در واقع

$$my = 0/76(s_b - s_t) \quad -8$$

Sb - مقدار گوگرد در آهن پایه به درصد

St = مقدار گوگرد در آهن عمل شده به درصد

نسبت وزن های اتمی منیزیم و گوگرد (یک اتم منیزیم با یک اتم گوگرد ترکیب شده یا

تشکیل mgs نماید) = 0/76

بنابراین معادله 7 به شکل زیر تبدیل خواهد شد .

$$mg_a = \frac{0/76(s_b - s_t) + mgr * 10}{mg_{rc}} \quad -9$$

به هر حال در عمل

$$mg_a = \frac{(s_b - s_t) + mgr * 100}{mg_{rc}} \quad -10$$

و برای حالتی که مقدار گوگرد پایه اندک باشد

$$mg_a = \frac{mgr}{mg_{rc}} * 100 \quad -11$$

در آنالیز نهایی ، منیزیم باقیمانده mgr شامل منیزیم حل شده در آهن بعلاوه منیزیم

ترکیب نشده با گوگرد و اکسیژن می باشد که در آهن باقی می ماند . اما روشی برای جدا

کردن منیزیم حل شده از منیزیم ترکیبی نه یک روش ساده برای تفکیک اثرات این

منیزیم های گوناگونی که در فرایند کروی کردن تشکیل می شوند وجود دارد .

## فصل دوم

### روشهای عملیات کروی سازی

#### مقدمه:

افزودن عوامل کروی کننده به مذاب آهن احتمالاً مهمترین مرحله در تولید چدن نشکن می باشد. منیزیم به طور گسترده ای به عنوان عنصر کروی کننده استفاده شده و اغلب همراه با سدیم و دیگر مواد کمیاب به مذاب افزوده می گردد. منیزیم و آلیاژهای آن وارد دمای بخار کمی بوده لذا افزودن آنها به مذاب می بایست با نهایت دقت انجام گیرد.

هدف از حرفه ریخته گری ارائه کیفیت مورد نیاز با کمترین قیمت ممکن می باشد. بازیابی آلیاژ عملیاتی یکی از مهمترین ملاحظات در این دستور بوده و احتمالاً ناسازگارترین عامل در کل فرایند است. فهرست متغیرهایی که بر بازیابی اثر دارند شامل:

دمای فلز نوع و اندازه مواد کروی کننده مقدار فلزی که باید بر آن عملیات انجام شود. سرعت ریختن مذاب و روش عملیات می باشد. مشخص شده است که امکان بازیابی کمتر یا بیشتر بستگی به توانایی کنترل عملیات توسط واحدهای مستقل ریخته گری دارد. این فصل اساساً بر روشهای عملیاتی که بیشترین موفقیت تجاری را داشته اند متمرکز شده است. گرچه آدرس روشهایی که استفاده کمتری دارند نیز ذکر شده است.

عملیات کروی کردن و ترکیب نسوز پاتیل مذاب ریزی بر منیزیم و باقیمانده نهایی اثر دارند. اتلاف منیزیم با استفاده از مواد نسوزی که به آن واکنش نمی نمایند (مثل  $MgO$ ,  $Ar_2O_3$ ) به حداقل می رسد. بعلاوه مواد مورد استفاده در ساختمان پاتیل‌های عملیاتی که با نسوزهای  $Ar_2O_3, MgO$  آسترکشی شده اند نسبت به آستر  $SiO_2$  کاهش می یابد.

آسترکشی با  $SiO_2$  همچنین ممکن است آخال‌های سیلیکات نامطلوبی را در ریختگیها نیز جا دهد. تلفات حرارتی همراه با آستر  $Al_2O_3$  با هدایت بالا ممکن است با استفاده از مواد عایق پشت بند جبران شود.

## روشهای کروی کردن

### 1- روش انتقال پاتیل باز (رو ریزی)

روش انتقال پاتیل با رو ریزی ساده ترین روش مورد استفاده در عملیات کروی کردن می باشد که احتمالاً این سادگی در شهرت آن سهیم بوده است. در این روش یک مقدار مورد نیاز از آلیاژ کروی کننده در ته پاتیل باز پیشگرم شده قرار داده شده و سپس مقدار مشخص از آهن پایه در دمای عملیات با سرعت ممن به آن افزوده می گردد.

بازیابی عنصر کروی کننده در این روش 20٪ الی 25٪ می باشد. اما بازیابی به عوامل زیادی حساس می باشد. نخستین عامل دمای تبخیر منیزیم و حلالیت کم آن در آهن می باشد. به این دلایل یک حمام عمیق برای طولانی کردن زمان تماس بین آهن و منیزیم و افزایش بهره وری از عنصر کروی کننده مطلوب می باشد. بنابراین عمق پاتیل باید دو و

نیم الی سه برابر قطر آن بوده و فلز باید به سرعت به داخل پاتیل ریخته شود. سرعت ریختن باید حدود 15 ثانیه برای هر یک تن باشد. همچنین آلیاژهای چگالتر بازیابی بهتری نسبت به آلیاژهای سبکتر در این روش دارند.

## 2- روش ساندویچی

شهرت اولیه روش انتقال پاتیل منتهی به اصلاح فن عملیات کروی کردن شد که به روش ساندویچی شناخته شده است. شکل پاتیل همانند پاتیل انتقال دهنده بوده با این تفاوت که بخش تحتانی پاتیل به منظور نگهداری آلیاژ کروی کننده با یک گودال با حفره اصلاح شده است.

بازیابی منیزیم در عملیات ساندویچی به طور ذاتی اصلاح و به محدوده 40٪ الی 45٪ می رسد مزایای این روش کوتاه شدن زمان عملیات، سادگی، انعطاف پذیری و اصلاح بازیابی منیزیم با سرباره و مواد فرار کمتری می باشد. عیب آن اتلاف دمایی تا حدود بیشتر به لحاظ گرمای اضافی مورد نیاز برای ذوب 1٪ تا 3٪ مواد پوشش فولادی می باشد.

## 3- روش پاتیل بار ریز درپوشدار

در این روش اتلاف منیزیم به شکل  $mgo$  به مقدار زیادی به علت جلوگیری از ورود به اکسیژن تازه به پاتیل به دلیل پوشاندن دهانه پاتیل پر کننده با فلز کاهش می یابد. بازیابی منیزیم به میزان 60٪ الی 65٪ می تواند حاصل گردد که یک اصلاح قابل توجه به روش ساندویچی بشمار رود.

مزایای روش فوق اصلاح و بازیابی مطمئن تر منیزیم، حذف مجازی نور خیره کننده، کاهش 90 درصد گرد و غبار، کاهش ترشح فلز و کاهش تلفات کربن و دما شده است. عیب عمده ساختمان و نگهداری در پوش است.

#### 4- روش فروری:

در میان سایر عوامل سرعت واکنش بین آهن مذاب و آلیاژ کروی کننده تعیین کننده کارایی فرایند عملیات مستقل می باشد. روشهای شرح داده شده قبلی موثر بوده، اما به ویژه برای مواد با منیزیم بالا یک فن فروری ممکن است مطلوب تر باشد.

در روش فروری یک ابزار نسوز به شکل زنگ شامل مواد کروی کننده بطور عمقی به داخل پاتیل محتوی آهن مذاب فرو برده می شود، این فروری و نگهداری مواد زیر سطح آهن مانع از شناوری مواد از این رو معمولاً منتهی به یک افزایش کلی در بازیابی منیزیم خواهد شد. مواد کروی کننده معمولاً در فرورنده به وسیله یک قوطی از قبیل ورق فلزی یا ظرف مناسب نگه داشته می شود.

بازیابی منیزیم در روش فروری بالا بوده و میتواند به آسانی از 50٪ با استفاده از آلیاژ فروسیلیسیم منیزیم 5٪ فراتر رود.

#### 5- فرایند عملیات در قالب

فرایند در قالب، یک فرایند نامرئی برای کروی سازی مذاب آهن در داخل خود قالب می باشد. یک محفظه واکنش ویژه مابین سیستم راهگامی و راهگاه اصلی قالب تعبیه می شود. آلیاژ کروی کننده داخل محفظه گذارده شده و واکنش با هنگام فرایند ریختن رخ



می دهد. همانگونه که انتظار داریم به منظور دستیابی به کروی شدن مطلوب و ریخته گری خوب فرایند به کنترل دقیق نیاز دارد. یک واکنش کنترل شده مابین آلیاژ و آهن مذاب بستگی به تعدادی از شرایط، شامل دمای فلز، سرعت تبخیر، شکل آلیاژ و هندسه و اندازه قطعه ریخته شده دارد. اگر چه این جنبه ها نسبتاً ثابت بوده و نیاز به دانش و تجربه و کسب مهارت موثر می باشد.

بازیابی منیزیم نوعاً 70٪ الی 80٪ می باشد گرچه بازیابی 100٪ نیز گزارش شده است. مقدار گوگرد با میزان 0/01٪ یا کمتر، قبل از عملیات ضرورت مطلق دارد تا احتمال عیوب ناشی از تشکیل آخال را حداقل نماید زمان ریختن باید به دقت کنترل شده تا از وجود آلیاژ حل شونده در تمام مدت پر شدن کامل قالب اطمینان حاصل گردد. گرافیت های غیر قابل قبول در ناحیه راهگاه فرعی می تواند از پر کردن آهسته قالب ناشی شود.

عیب بازده ریختگی پایین تر، ظاهراً بدان علت است که محفظه واکنش خود بخشی از هر سیستم راهگاهی است. اعتقاداتی مبنی بر محدودیت اندازه قطعات ریختگی، هندسه و تعداد قطعات ریختگی وجود دارد. افزایش امکان ورود سرباره و دیگر محصولات واکنش به قطعه ریختگی نیز از عیوب می باشد. نیاز بیشتر به اطمینان از کروی شدن برای هر محصول ریختگی به لحاظ آنکه عملیات به طور جداگانه در هر قالب صورت می گیرد وجود دارد.

## 5-1 فرایند عملیات از خارج بر سیال

فرایند عملیات بر جریان مذاب از خارج، یک انتقال آشکار از روش عملیات در قالب بوده که خارج از قالب و پاتیل صورت می گیرد. آلیاژ در یک محفظه واکنش در بالای محل سیلان آهن مذاب گذارده شده و با آلیاژ واکنش می نماید. به جهت آنکه ابعاد محفظه واکنش از پیش تعیین شده است. تغییرات گسترده ای در حد گوگرد ممکن نمی باشد. میزان بازی منیزیم از 60٪ الی 70٪ گزارش شده است. درصد آلیاژ می تواند از 0/8 درصد الی 1/5 درصد متناسب با وزن ماده کروی کننده و مقدار گوگرد تعیین گردد. اصلاحات به عمل آمده در تولید قطعات ریختگی نموده است اما نیاز به آلیاژ منیزیم کمتر و اندکی محدودیت در اندازه ممکن است تأثیر منفی بر مسائل اقتصادی داشته باشد.

## 6- پاتیل فشاری و محفظه فشاری

دو تغییر در سیستم فشاری بکار گرفته شده است. در روش اول پاتیل عملیات بطور محکم درزگیری شده و فشار مواد کروی کننده به آهن مذاب اعمال می شود. در روش دوم یک پاتیل مرسوم داخل یک محفظه فشاری جاییکه مواد کروی کننده افزوده می گردند گذارده می شود. در هر دو حالت حدود 30 اتمسفر فشار به فلزی که بیش از حد تحت عملیات واقع شده اعمال می گردد. مزایای هر دو روش شامل استفاده از مواد منیزیم دار ارزان امکان بازیابی به میزان 70٪ الی 80٪ عدم نیاز به آهن پایه با گوگرد کم و عدم نیاز به افزودن سیلیسیم به هنگام عملیات می باشد.

معایب شامل نیاز به تجهیزات بیشتر برای حفظ کامل فشار می باشد.

## 7- فرایند توپی متخلخل

در این روش با عمل تلاطم آلیاژ منیزیم واکنش کننده با دیگر مواد شناور می توانند به سطح بالایی حمام مذاب در پاتیل عملیات افزوده شوند. عمل هم زدن مواد را به زیر سطح در ناحیه ای که واکنشهای مربوطه بدون حضور اکسیژن انجام می شود هدایت می کند.

## فصل سوم

### نگرشی بر فرآیند افزودن منیزیم در راهگاه

#### پیش گفتار:

قابلیت تولید چدن با گرافیت کروی از طریق افزودن منیزیم به مذاب چدن (آلیاژ منیزیم، نیکل، کلسیم، و سیلیسیم) در حدود سال 1920 توسط میهن ادعا شد، در حدود سالهای 1940 پژوهشگران امریکایی، انگلیسی و آلمانی روش تولید صنعتی این نوع چدن را ابداع نمودند.

در میان روشهای تولید این نوع چدن که تفاوت اصلی آنها در نحوه افزودن منیزیم به مذاب چدن است، فرایند افزودن منیزیم در راهگاه شاید مهمترین پیشرفت در تکنولوژی فرایند متالورژی بعد از ابداع چدن با گرافیت کروی باشد.

مفهوم اولیه فرایند تولید چدن نشکن با استفاده از محفظه ای برای واکنش منیزیم با مذاب در قالب برای کسانیکه با تولید این نوع چدن آشنایی دارند احتمالاً ایده جدیدی نمی باشند. حل مشکل میرایی منیزیم در مذاب موجود در پاتیل و دستیابی به ساختاری از گرافیتهای کروی بسیار ریز همواره مورد نظر ریخته گران بوده است. برای دستیابی به این مقصود نیاز به ابداع و نوآوری از طریق مطالعه و تجربه بود. این مهم در سال 1968 توسط Dunes از شرکت روش و مواد انگلستان تحقق یافت و نتایج مطالعات و اختراع انجام یافته

در سالهای 1974-7 به صنایع ریخته گری راه یافت. اساس این روش حل منیزیم در مذاب در محفظه ای بنام محفظه فعل وانفعال که جزئی از سیستم راهگاهی است، می باشد.

اولین تجربه ها در ایران جهت استفاده از این فرایند از حدود دو سال پیش آغاز شد. شرکت صنایع چدنی ایران، کارخانه ریخته گری پولادیر، شرکت صنایع ذوب ایران، شرکت فولاد ریزان، کارخانه ریخته گری سیمان درود، اولین تجربه کنندگان این فرایند نو بودند.

هم اکنون علاوه بر تعدادی از واحدهای کوچک ریخته گری، کارخانه جات صنایع چدنی ایران، ماشین سازی تبریز تا حدودی فولاد ریزان به تولید انبوه قطعات چدن نشکن خود با این روش اشتغال دارند، و جاذبه های تکنیکی و اقتصادی این فرایند نو را از نزدیک تجربه نموده اند. تمایل به انجام تجربه های اولیه در اکثر تولید کنندگان چدن نشکن در ایران دیده می شود.

## مقدمه:

اکنون 12 سال از کاربرد فرایند منیزیم در راهگاه در صنایع ریخته گری جهان و حدود 2 سال در کارخانه جات ریخته گری ایران می گذرد. در این ایام همانطوریکه از هر نوع فرایندی می توان انتظار داشت بسیاری از مفاهیم آن چه از نظر فرایند تولید و چه از جهت ملاحظات آلیاژی تغییر نموده است. مهمترین جنبه های این فرایند صرفه نظر از سادگی آن و عدم ایجاد دود در جریان افزودن منیزیم به مذاب، قابلیت کنترل حلالیت منیزیم در جریان مذاب چدن است. این پدیده بهترین و ساده ترین روش ممکن در تولید چدن با گرافیت فشرده را نیز فراهم آورده است. سهولت استفاده از این روش در ذوب ریزهای اتومات، سادگی توزیع مذاب در کارگاه، جنبه های اقتصادی تولید، هزینه کمتر تمام شده قطعه ریختگی و کاهش سرمایه گذاری اولیه در ایجاد واحد چدن ریزی. همگی جاذبه های استفاده بیشتر از این فرایند در سالهای اخیر را افزایش داده است. تولید قطعات با این روش در خط تولید چند کارخانه ریخته گری ایران تجربه شده و تنها در شش ماهه گذشته قطعات تولیدی از مرز 400 هزار گذشته است. چنین به نظر می رسد که به زودی این فرایند در تعداد بیشتری از کارخانه جات ریخته گری کشور ما جایگزین روشهای سنتی دیگر خواهد شد. دلیل این استقبال چیست؟ اجازه دهید این مزایا را به ترتیب اولویت بصورت ریز و به اختصار شرح دهیم.

## الف: جنبه های اقتصادی:

کاهش قیمت تمام شده محصول و در شرایط کشور ما صرفه خوبی ارزی، یکی از عوامل بسیار مهم انتخاب یک روش است. برآوردهای انجام شده برای قطعات واقعی صنعتی در واحدهای تولید کننده چدن با گرافیت کروی نشان داده شده است که قیمت تمام شده قطعات تولید شده از روش افزودن منیزیم در راهگاه حداقل 30 درصد از روشهای سنتی کمتر است. این کاهش قیمت تمام شده از منابع زیر حاصل می شود.

1- کاهش فروسیلیسیم منیزیم به مقدار کمتر از نصف (حدود 0/8 درصد) نسبت به روشهای دیگر.

2- کاهش مقدار مذاب مورد نیاز برای بدست آوردن یک مقدار معین قطعه ریختگی سالم.

3- کاهش مقدار انرژی مصرفی.

4- حذف مرحله تلقیح توسط مواد جوانه زا (به عنوان مثال فروسیلیسیم 75٪)

5- حذف بخشی از هزینه های مربوط به استهلاک ساختمان و ماشین آلات و ابزار.

6- صرفه جویی در نیروی انسانی در رابطه با حذف برخی از مراحل تولید و خود کار کردن آن.

7- سلامت و یکنواختی خواص قطعات بدست آمده و در نتیجه کاهش قطعات معیوب.

8- امکان افزایش مصرف قراضه های فولادی (با درصد منگنز بالاتر) و جایگزینی آن به جای شمشهای وارداتی.

بررسی مقایسه اقتصادی بین دو روش منیزیم در راهگاه (روش جدید) و روش ساندویچی (روش قدیم) در کارخانه جات صنایع چدنی ایران.

بررسی اقتصادی دو روش استفاده دار محفظه فعل و انفعال با روش منیزیم در راهگاه و روش قدیمی نشکن سازی با استفاده از روش ساندویچی در پاتیل به منظور ارزشیابی هزینه مواد مصرفی در دو روش و محاسبه و مقدار صرفه جویی ارزی و ریالی صورت گرفته است.

ارزشیابی براساس تولید 5000 تن قطعه ریختگی سالم صورت گرفته است. چنانچه میزان بهره دهی ریخته گری را 60 درصد و میزان خرابی قطعات را 10٪ و میزان افت مواد در اثر سوخت در کوره هنگام ذوب را 5 درصد در نظر بگیریم، در این صورت مقدار کل مواد به کار رفته جهت تولید 5000 تن قطعه سالم معادل 526 10 تن برآورد می گردد.

### **ب: عدم نیاز به مصرف شمشهای وارداتی:**

تجربه های صنعتی انجام یافته در ایران نشان داده شده است که با استفاده دار 100 درصد قراضه فولاد وحتىی از انواع نامرغوب که برخی از آنها محتوی آهن گالوانیزه نیز بوده اند قطعات ریختگی از نظر کروی بودن گرافیتها وعدم حضور کاربیدها در زمینه مورد قبول بخش کیفی کارخانه قرار گرفته است. بدیهی است با حذف مصرف شمش وارداتی ویا کاهش میزان مصرف آن صرفه جوئی ارزی حاصله کاملاً قابل توجه است.



## عدم وجود کاربرد در زمینه چدن

یکی از جنبه های نامطلوب تولید چدن نشکن در روشهای سنتی به ویژه در قطعات نازک حضور کاربرد در زمینه چدن است. این مسئله همواره به عنوان یک مشکل در تولید این نوع چدن‌ها در نزد ریخته گران کشور ما مطرح شده است.

ریخته گرانی که در ایران دو فرایند قدیم و جدید را با یکدیگر مقایسه نموده اند به این نکته واقف هستند که تمایل به ایجاد کاربرد در فرایند افزودن منیزیم در راهگاه در قطعات حتی تا ضخامت 4 میلی متر (سرپنجه راه آهن تولید کارخانه فولاد ریزان) دیده نشده است. در خط تولید کارخانه صنایع چدنی ایران در جریان 6 ماه تولید مداوم قطعات استفاده از مخلوط آهن قراضه (حتی از انواع نامرغوب زنگ زده و محتوی آهن گالوانیزه) و راهگاههای برگشتی و یا حتی با استفاده از 100 درصد قراضه فولاد قطعات ریختگی با ساختار مطلوبی تولید شده اند. (با این تذکر که عناصر نامطلوب محتوی مذاب در حد کنترل شده ای قرار داشته اند).

در تولید قطعاتی به ضخامت تقریبی 6 میلی متر و کربن در محدوده  $3/3-3/5$  و سیلیسیم در محدوده  $2-2/2$  و منگنز  $0/3$  تا  $0/5$  و حتی در حضور کرم در شارژ تا حد  $0/1$  در صد (و در موارد نادر تا  $0/15$  درصد) قطعات در حالت سیاه تاب با زمینه محتوی حدود 40 درصد پرلیت و 60 درصد فریت تولید شده اند.

## کاهش نقش عملیاتی کارکنان تولید در ایجاد عیوب ساختاری در قطعات

از مشکلات روش ساندویچی عدم تمایل کارگران به کار کردن در کنار پاتیل سرخ و قرار دادن فرو سیلیسیم منیزیم در ته پاتیل و صرف دقت کافی در پوشانیدن سطح مواد است. یکی از دلایل اصلی عدم موفقیت روش ساندویچی در ریخته گریهای کشور ما همین عدم قرار دادن صحیح منیزیم در پاتیل است. در فرایند افزودن منیزیم در راهگاه پس از آنکه سیستم راهگاهی، محفظه فعل و انفعال، تغذیه ها و بخشهای دیگر قالب به درستی طراحی و به مورد اجرا گذارد شد با قرار دادن مقدار معینی آلیاژ در محفظه و ریختن مذاب در قالب، قطعات ریختگی با ساختار و کیفیت مطلوب بدست می آیند.

## عدم ایجاد دود و تمیز بودن فرایند

همه ریخته گرانی که یا روش ساندویچی سر و کار دارند با دود غلیظ سفید رنگ mgo حاصل از افزودن فروسیلیسیم منیزیم به مذاب در پاتیل آشنایی دارند. برای فضای آلوده واحدهای ریخته گری کشور ما که چندین بار دور تر از حد ایمنی استاندارد ایمنی و بهداشتی جهانی قرار دارند حذف بخار آلوده منیزیم قدم کوچکی در جهت کاهش فضای آلوده کارخانه می باشد.

در اکثر کشورهای صنعتی جهان افزودن منیزیم به پاتیل مذاب نه تنها بایستی زیر هود انجام گیرد بلکه برای جلوگیری از آلوده سازی فضای بیرون کارخانه نیز از غبار گیریهای مناسبی استفاده می گردد.

در کارخانجاتی که مجهز به سیستم ذوب ریز اتومات هستند، استفاده از این فرایند ساده ترین، اقتصادی ترین و شاید در شرایط کشور ما تنها راه افزودن منیزیم به مذاب چدن است.

چه نکاتی را در این فرایند بایستی مورد توجه قرار داد؟

توصیه های زیر بر مبنای دوسال تجربه های آزمایشگاهی و صنعتی نویسندگان این مقاله قرار دارد. اما با توجه به نبودن این فرایند در ایران می توان صحت نکات و توصیه های ارائه شده را مورد تردید قرار داد. به هر حال با گذشت زمان ثکسب تجربه های بیشتر می توان به کلیه نکات تاریک و مبهم این فرایند دست یافت.

### 1- سیستم راهگاهی

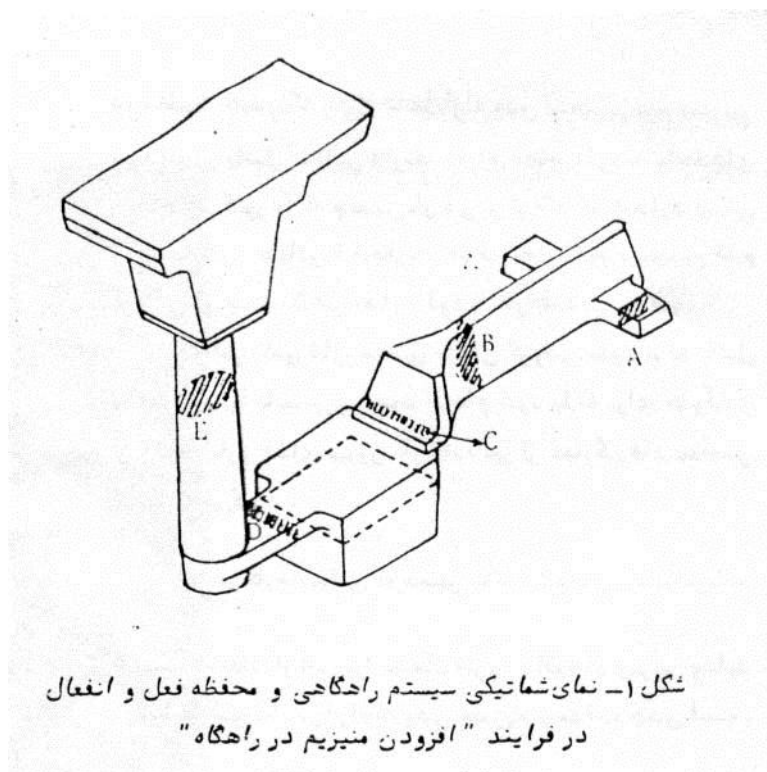
بدون تردید مهمترین بخش قالب در این فرایند سیستم راهگاهی و محفظه فعل وانفعال است. برای هر میزانی از جریان مذاب در قالب، میزان منیزیم جذب شده در مذاب را می توان با تغییر سطح مقطع محفظه فعل وانفعال کنترل نمود. از طریق تجربه به اثبات رسیده است که بین سه عامل زیر یک رابطه ریاضی وجود دارد.

\* میزان و یا تمایل به حلالیت آلیاژ محتوی منیزیم در مذاب

\* میزان یا دبی جریان مذاب در قالب

\* سطح مقطع محفظه فعل وانفعال

تجربه نشان داده است که برای مذاب چدنی که در محدوده حرارتی  $1425+10$  درجه سانتی گراد قرار دارد با روابط سه گانه فوق تقریباً ثابت خواهد بود. در شکل 1 سیستم راهگاهی مناسب در این فرایند نشان داده شده است.



سیستم راهگاهی برای یک یا دو قطعه در هر درجه، راهبارها (راهگاههای فرعی) به قطعه و یا تغذیه متصل می گردد.

$A=X$  مجموع سطوح مقاطع راه باره ها

$B=X+ \% 10X$  سطح مقطع راهبار

$C=X+ \% 12 X$  سطح تنگه روی محفظه

$D = X + \% 30 X$  سطح مقطع راهبار دوم

$E > X + \% 30 X$  کمترین سطح مقطع راهگاه بار ریز

(برای محاسبه E به توضیحات اضافی این نوشته مراجعه گردد)

اجزاء مهم سیستم راهگامی در فرایند افزودن منیزیم در راهگام به صورت زیر است.

\*حوضچه و راهگام بار ریز.

\*محفظه فعل وانفعال

\*خروجی مذاب از محفظه فعل وانفعال.

\*راه بار وتله های آشغالگیر

\*راهبارها.

\*تغذیه

\*محفظه قالب

\*سیستمی که کنترل کننده تنگه است.

شکل ابعاد و مراحل قرار این اجزاء می تواند از یک کارخانه ریخته گری به کارخانه

دیگری متفاوت باشد. به هر حال در هر واحد ریخته گری بایستی از اجزاء معینی استفاده

نمود، این اجزاء درک گردیده و به درستی کنترل گردند.

### **حوضچه و راهگام بار ریز:**

در حقیقت ویژگیهای حوضچه و راهگام بار ریز در این فرایند با روشهای دیگر متناوب

نمی باشد. ذوب ریزی در حوضچه می تواند دستی و یا اتوماتیک انجام گیرد. در طراحی

سیستم های راهگامی اندازه حوضچه را معمولاً در حدی در نظر می گیرند که مذاب

مورد نیاز یک ثانیه قطعه را تامین نمایند. برای مثال چنانچه وزن مذاب ریخته شده در قالب 30 کیلوگرم بوده و برای پر کردن قالب 15 ثانیه زمان لازم باشد وزن مذاب در حوضچه ها حداقل بایستی  $\frac{30}{15} = 2$  کیلوگرم باشد. به نظر نویسندگان این نوشته بهتر است حوضچه را حتی از این مقدار هم بزرگتر در نظر گرفت تا در تمام جریان بار ریزی حوضچه کاهش یابد، طول زمان پر شدن قالب از مذاب افزایش خواهد یافت.

اگر چه بهترین شکل برای راهگاه بار ریز شکل مخروطی است تنها به دلیل سهولت قالب گیری ماشین این مخلوط را بطور وارونه در قالب تعبیه می کنند. لذا منظور از کمترین سطح مقطع راهگاه بار ریز یا E قسمت زیر حوضچه است. نکته مهم آن است که شرط  $E > X + 30\% X$  آورده شده در شکل 1 لازم بوده اما کافی نیست زیرا دبی جریان مذاب از سطح مقطع E بایستی بیشتر از دبی جریان مذابی از راهباره ها باشد.

میزان دبی جریان مذاب از سطح مقطع E (زیر حوضچه) برابر است با:

$$R_e = v_2 - E = F_r \cdot \sqrt{2gh.e}$$

که سرعت جریان مذاب از قسمت بالای راهگاه بار ریز

$$V_e : (cm/sec)$$

$$R_e : (cm^3/sec) \quad E$$

عامل افت اصطکاکی  $F_r :$

شتاب ثقل  $A : (cm)$

فاصله عمودی بین سطح موجود در حوضچه و سطح مقطع E

$$H : (cm)$$

چنانچه راهبارها در سطح جدایش قالب قرار گیرند دبی جریان مذاب از مجموع سطوح

مقاطع راهبارها برابر خواهد بود با :

$$R_A = V_A \cdot A = F_R \sqrt{2gh} \cdot a \quad \text{که}$$

مجموع سطوح مقاطع راهبارها  $A : (cm^2)$

فاصله عمودی بین سطح جدایش قالب و مذاب موجود در حوضچه است .  $H : (cm)$

هنگامی قانون تداوم تحت هر شرایطی برقرار است که سیستم راهگاهی کاملاً از مذاب پر

باشد یعنی :

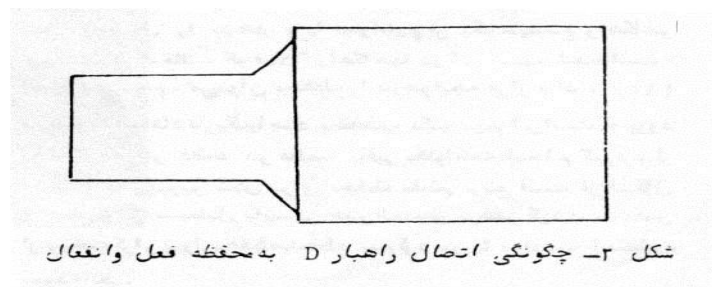
$$R_e = R_a$$

$$\sqrt{H} \cdot E = \sqrt{H} A$$

شرایط لازم برای آنکه سیستم راهگاهی فشاری باشد .  $E \geq A \sqrt{\frac{H}{h}}$

مطابق شکل 2 محل اتصال راهبار D به محفظه فعل و انفعال بایستی به گونه ای باشد که

در محل اتصال به محفظه گشاد شده و حداقل 90٪ ظلع محفظه را بپوشاند.



## محفظه فعل وانفعال

همانطوریکه که قبلاً گفته شد سطح مقطع محفظه فعل وانفعال مشخص کننده میزان منیزیم جذب شده در مذاب در واحد زمان است. برای تعیین سطح مقطع محفظه فعل وانفعال از عامل حلالیت، یعنی رابطه زیر استفاده می گردد.

عامل حلالیت نشان دهنده میزان منیزیم جذب شده است. میزان منیزیم مورد نیاز در قطعه بستگی به ضخامت قطعه، نوع فروسیلیسیم منیزیم مصرفی و وزن مذاب ریخته شده در قالب دارد. مقدار عامل حلالیت در بیشتر موارد بین  $0/05$  تا  $0/07 \text{ Kg/sec. cm}^2$  قرار دارد. هر قدر ضخامت قطعه ریختگی بیشتر باشد مقدار عامل حلالیت را بایستی کوچکتر در نظر گرفت. برای مثال جهت قطعات با جداره ضخیم چنانچه مقدار منیزیم باقیمانده در قطعه  $0/05$  در صد مورد نیاز باشد، لازم است مقدار عامل حلالیت را  $0/035$  در نظر گرفت. به هر حال این نکته در نظر گرفته شود که میزان منیزیم لازم در قطعه برای کروی نمودن گرافیت در این فرایند از مقدار منیزیم لازم در فرایندهای سنتی کمتر است.

در اولین تجربیات انجام شده در ایران با استفاده از آلیاژهای مختلف فروسیلیسیم منیزیم 5 تا 7٪ که دارای مقادیر متفاوتی کلسیم، آلومنیوم و RE بودند دیده شد که عامل حلالیت تحت تأثیر این عناصر قرار گرفته و مهمترین تأثیر را کلسیم نشان می داد. بطور کلی با افزایش مقدار کلسیم در آلیاژ میزان حلالیت کاهش یافته و لذا بایستی از عامل حلالیت



کوچکتری استفاده نمود. تجربه دیگری که در این زمینه به دست آمده آن است که با کوچکتر شدن قطعات ریختگی و رسیدن به حدود 3 کیلوگرم به پایین اعمال فرایند منیزیم در راهگاه با مشکلات بیشتری همراه است.

در ریخته گری قطعاتی به وزن 1/5 کیلوگرم که در هر درجه 8 قطعه جای داده شده بود. در تولید انبوه این قطعات مشاهده گردید که راهگاهها به خوبی نشکن شده اما قطعات دارای مقادیر بالایی گرافیت ورقه ای هستند. این موضوع نشان داد مذاب اولیه قادر به جذب منیزیم کافی نبوده و لذا اولین مذاب وارد شده به محفظه قالب فاقد منیزیم جذب شده کافی نبوده است برای رفع این مشکل دو تمهید در تولید تمام قطعات سبک به کار رفت.

1- کاهش عامل حلالیت از 0/06 به 0/045

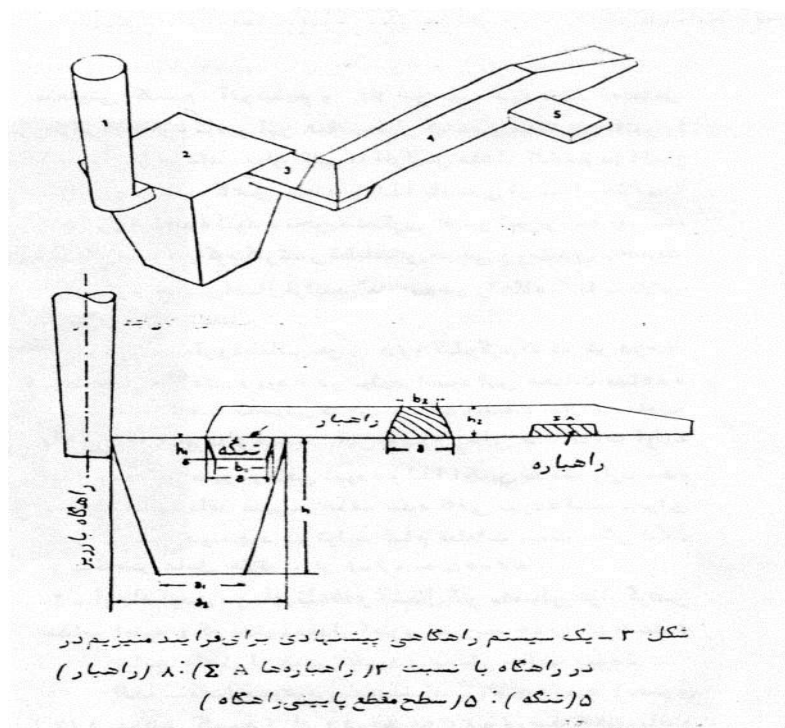
2- ایجاد گودی در پای تله های آشغالگیر به منظور قرار گرفتن مذاب اولیه (که محتوی مقدار کمتری منیزیم جذب شده است)

نتایج حاصل از چنین تمهیدی بسیار جالب بوده:

الف- مقدار مصرف فرو سیلیسیم منیزیم 5 درصد (محتوی 1/7 درصد کلسیم) از 1 درصد به 0/8 درصد کاهش یافته (حتی می توان مقدار آن را در صورتیکه گوگرد مذاب زیر 0/01 درصد باشد به 0/65 درصد تقلیل داد).

ب-راهگاهها کاملاً نشکن شده و در جریان ویریه کردن قالب و تخلیه ماسه شکسته شده و برداشتن آن از روی نوار نقاله برای کارگران سهل تر است.

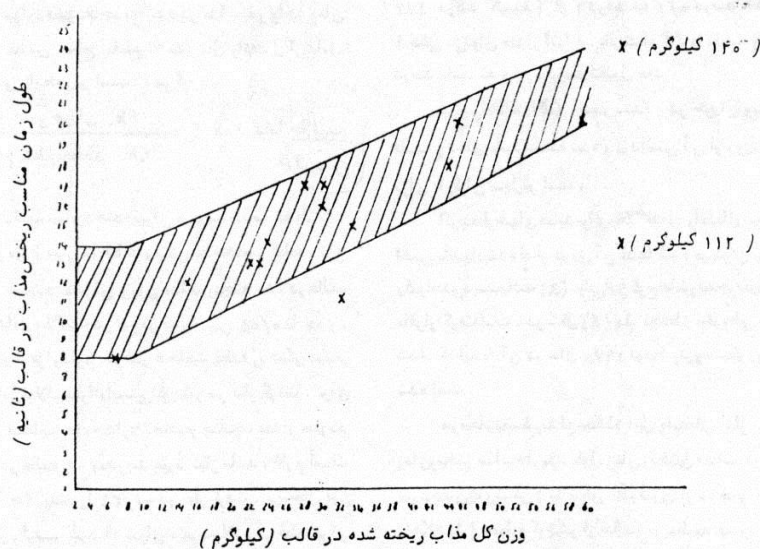
اگر چه طرحهای جدید برای محفظه فعل و انفعال در سالهای اخیر پیشنهاد شده که از طریق آن ادعا شده می توان به حلالیت یکنواختی دست یافته ولی این طرح ها مورد توجه ریخته گران ما قرار نگرفته است، در شکل 3 یک محفظه مخروطی نشان داده شده که ایده آن در سال 1978 توسط پتروچنیکو روسی داده شده است.



در محاسبه سطح مقطع محفظه فعل و انفعال نیاز به دانستن زمان ریختن مذاب داریم. طول زمان ریختن مذاب در قالب در مورد چدنهای نشکن (به منظور جلوگیری از سوختن منیزیم در راهگاهها) همواره کوچکتر از حالت مربوط به چدن خاکستری است. تجربیات

$$t = (1/23 + .1/6d)\sqrt{w} \quad \text{بعدی انجام شده بر روی قطعات به دست آمده از رابطه}$$

که در منبع مراجعه آورده شده 2 تا 4 دقیقه (یعنی زمان رسیدن مذاب از حوضچه به محفظه) افزوده گردد. احتمالاً برای قطعات بزرگ چنین عملی ضرورت نخواهد داشت. در مورد ریخته گری قطعات کوچک و متوسط، زمان ریختن تجربی را می توان از شکل 4 محاسبه کرد. (این نمودار حاصل تجربیات مرکز پژوهش متالورژی رازی بوده و احتمالاً تغییراتی بر روی آن با کسب تجربه ای بیشتر وجود دارد) به هر حال در این نمودار ضخامت قطعه ریختگی به عنوان عامل مهمی در زمان پر کردن قالب تأثیر داده نشده است.



شکل 4- نمودار تعیین طول زمان ریختن مذاب تابعی از وزن مذاب ریخته شده در قالب، ستاره های آمده در این نمودار از تجربه ای با انجام یافته در ایران به همراه اعداد آمده در مقالات خارجی استخراج شده اند. (نمودار پیشنهاد شده توسط مرکز پژوهش متالورژی رازی).

ارتفاع محل فعل وانفعال با شیب 2 تا 3 درجه بوده و منظور از سطح قطعه محفظه سطح قرار گرفته در نصف ارتفاع محفظه است. چنانچه فضای درجه اجازه قرار دادن محفظه فعل وانفعال را ندهد و یا نخواهیم از یک سیستم راهگامی جدید در یک قالب که قبلاً راهگامها در آن تعبیه شده است، استفاده کنیم. میتوان محفظه را در حوضچه قرار داد.

در صورت استفاده از یک یا چند محفظه، نکته مهم آن است که ورود مذاب به هر قطعه در قالب به طور یکنواخت انجام گیرد. از آنجائیکه بهترین شکل برای محفظه مقطع مربع است از اشکال با مقطع مربع مستطیل بایستی حتی المقدور پرهیز گردد. بعضی از ریخته گران نیز از محفظه با مقطع نیم کره نیز با موفقیت استفاده نموده اند.

## خروجی محفظه

کنترل ابعادی و محل استقرار تنگه خروجی از محفظه بسیار مهم بوده زیرا این قسمت از سیستم راهگامی کنترل کننده میزان مذاب اولیه جریان یافته در راهگاهها و در نتیجه میزان منیزیم جذب شده در مذاب ورودی به محفظه قالب می باشد. معمولاً سطح مقطع آنرا 12 درصد بیشتر از تنگه اولیه (یعنی مجموع سطوح مقاطع راهباره ها) در نظر می گیرند.

در بعضی از سیستمهای راهگامی این قسمت از سیستم را به عنوان تنگه اصلی در نظر گرفته از تنگه خروجی محفظه به بعد سیستم راهگامی غیر فشاری خواهد بود.

تنگه خروجی محفظه در قسمت بالای محفظه در درجه رویی یا رزیری تعبیه می گردد. محل قرار این تنگه بایستی به گونه ای انتخاب گردد تا توقفی در مذاب جریان یافته از محفظه فعل و انفعال بوجود آمده و قبل از ورود مذاب به راهبار تماس لازم بین مذاب و آلیاژ منیزیم دار در محفظه قالب بوجود آید. برای انجام این منظور بهتر است تنگه خروجی محفظه بر روی سطح محفظه منطبق شده و در درجه بالایی تعبیه گردد. محل قرار تنگه خروجی بایستی به گونه ای باشد تا از ایجاد هر گونه جریان مرده مذاب در محفظه

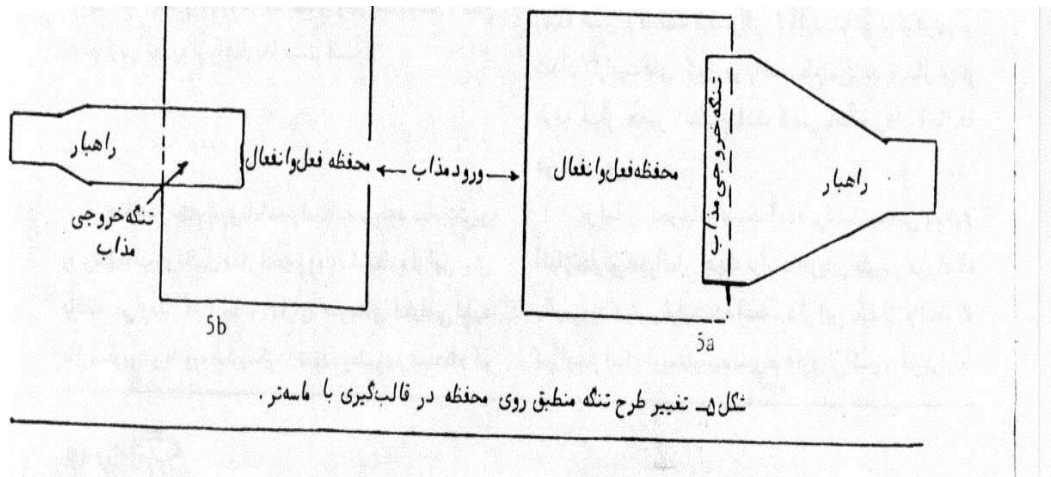
فعل وانفعال جلوگیری کند. براساس معیارهای اولیه طراحی هر عرض تنگه خروجی بایستی حداقل 75٪ یک ضلع محفظه انفعال را بپوشاند. شکل 5a تجربیات انجام یافته در کارخانه جات صنایع چدنی ایران که ماسه خط از نوع تر بوده و حداکثر استحکام فشاری آن حدود 18 psi می باشد به خاطر کم بودن ضخامت منطقه منطبق شده ماسه شویی شدیدی بوجود آمده و لذا ناچاراً از طرح نشان داده شده در شکل 5b استفاده گردیده است.

### راهبار وتله های آشغالگیر

در تولید تمام قطعات تمیز ریختگی و با حداقل ضایعات لازم است در طرح سیستم راهگاهی و پیش بینی تله های آشغالگیر دقت کافی بکار رود. در فرایند افزودن منیزیم در راهگاه توجه به این مسائل ضرورت بیشتری دارد. زیرا مواد مضر حاصل از واکنش مذاب و منیزیم به عنوان ناخالصیهای ناخواسته وارد محفظه قالب می گردد. برای جدا کردن این ناخالصیها از مذاب لازم است، سرعت جریان مذاب در راهبار به مقدار لازم کاهش یابد. سطح مقطع هر راهبار در تولید چدن نشکن بستگی سرعت جریان مذاب در راهبار دارد به گونه ای که منجر به تولید قطعه ای سالم و تمیز گردد. بسیاری از پژوهشگران توصیه نموده اند که علاوه بر آنکه حداقل فاصله بین تنگه محفظه فعل وانفعال و اولین راهبار نبایستی کمتر از 15cm باشد. بلکه سرعت جریان مذاب در راهبار نیز بین 8 تا

12 اینچ بر ثانیه در نظر گرفته شود (سطح مقطع راهبار/4\* دبی جریان = سرعت جریان

مذاب) که 4 حجم یک پاند از فلز بر حسب اینچ مکعب می باشد.



\* هر قدر راهبار کوتاهتر باشد سرعت جریان مذاب در آن را باید کمتر در نظر گرفت.

\* هر قدر راهبار طویلتر باشد سرعت جریان مذاب را می توان بیشتر در نظر گرفت.

\* هر قدر ریختن مذاب سریعتر باشد بایستی از راهبار با سطح مقطع بزرگتر استفاده کرد.

مهمترین مزایای جریان مذاب با سرعت بالا آن است که راهبار، سریعتر پر شده و بهره دهی

قطعات افزایش می یابد. محدودیت ها و مضار چنین سیستمی آن است که اولاً: ماسه شویی

در سیستم راهگاهی بوجود آمده و ثانیاً: امکان جدا شدن ناخالصیهای سبکتر از مذاب

و جمع شدن آنها در سطح مذاب در سیستم راهگاهی نخواهد بود. در مواردی که از ماسه

تر با استحکام پایین استفاده می شود، بایستی از سیستم جریان مذاب با سرعت بالا پرهیز

شود. بسیاری از ضایعات قطعات ریختگی در نتیجه وجود ناخالصیها در قطعه بوده که

یکی از عوامل آن استحکام پایین ماسه است. از طرف دیگر استفاده از سیستمی با جریان

مذاب با سرعت کم پاسخ لازم برای از بین بردن عیوب حاصل از آنها نخواهد بود. بسته

به محل قرار تنگه ها در سیستم راهگاهی حتی با وجود راهباره هایی با سطح مقطع بزرگ، ناخالصیها و آخالها به محفظه قالب راه یافته اند. چنین حالتی هنگامی اتفاق می افتد که قبل از پر شدن کامل راهبار از مذاب قسمتهایی از محفظه قالب قبلاً پر شده اند. حسن سیستم راهگاهی کاملاً فشاری آن است که راهبار قبل از محفظه قالب از مذاب پر می گردد. به هر حال با راهباری به سطح مقطع 10٪ بیشتر از راهباره سرعت مذاب در راهبار به 28 تا 30 اینچ بر ثانیه می رسد. چنین سرعتی ناخالصیهای  $mg_2s, mgsio_2, sic, mgo$  را به همراه ماسه شسته وارد محفظه قالب می نماید.

عموماً جریان مذاب با سرعت کم در سیستم راهگاهی اولاً از ماسه شویی جلوگیری کرده و ثانیاً به آخالها و ناخالصیها فرصت جدا شدن از مذاب را می دهد. عیب این روش آن است که زمان پر شدن قالب تز مذاب طولانی شده و بهره دهی قطعه نیز کاهش می یابد.

در فرایند افزودن منیزیم در راهگاه لازم است از ایجاد هر گونه گوشه تیز در راهگاهها پرهیز گردد. از طرف دیگر استحکام ماسه را حتی المقدور بایستی با کاهش رطوبت و افزودن چسبهایی نظیر مواد نشاسته ای و یا استفاده از ماشینهای قالبگیر با فشار بالا افزایش داد. یک نکته لازم آن است که مواد کربنی افزودنی به ماسه نیز بایستی محتوی گوگرد پایینی بوده زیرا در غیر این صورت حضور گرافیتهای ورقه ای در سطح قطعات اجتناب ناپذیر خواهد بود.

## راهباره ها

از آنجائیکه ضخامت راهباره ها کمتر از ارتفاع راهبار می باشد لذا امکان جمع شدن ناخالصیها و آخالها در راهبار بیشتر می باشد. مناسب ترین روش تعیین سطح مقطع راهباره (یا راهباره ها) استفاده از رابطه زیر است که اجزاء آن قبلاً در منبع مراجعه 5 تشریح شده

$$G_s = \frac{7/48WKg}{t\sqrt{ESHcm}} \quad \text{است.}$$

از آنجائیکه اکثر قریب به اتفاق قطعات چدن نشکن دارای تغذیه است. لذا راهباره ها به تغذیه وصل شده و عملاً سطح مقطع گردن تغذیه از راهباره ها بیشتر است.

## تغذیه

چنانچه از قالبگیری با ماسه تر استفاده می شود مناسب ترین روش تغذیه گذاری تقلیل فشار است. استفاده از این روش باعث می گردد که قطعات دارای حفره های انقباضی اولیه ماکروسکوپی نبوده و علیرغم استحکام کم قالبها، تغییر شکل ابعاد قالب و در نتیجه قطعه ناچیز باشد.

## نوع آلیاژ فروسیلیسیم منیزیم

همانطوریکه در منبع مراجعه 5 اشاره شد تمام آلیاژهای فروسیلیسیم 5 تا 7 درصد موجود در ایران قادر به کروی نمودن گرافیت در قطعات بوده اند. مناسبترین اندازه ذرات بین 1 تا 4 میلی متر می باشد، وجود هر نوع ذرات زیر 1 میلی متر شدیداً قابلیت حلالیت را تغییر داده و موجبات پیدایش عیوب در قطعات را فراهم می آورد.



مهمترین عناصری که در آلیاژ Fesimg بجز عناصر اصلی آهن، سیلیسیم و منیزیم وجود دارد عبارتند از کلسیم، آلومنیوم و سریم، ولانتانیم (RE). اگر چه در حال حاضر نمی توان تأثیر دقیق این عناصر را بر مرغوبیت قطعات مشخص نمود. به هر حال این تأثیرات شناخته شده اند:

کلسیم تمایل به ایجاد آخالها و ناخالصیها در مذاب را افزایش می دهد. از طرف کلسیم به عنوان عناصر مفیدی کنترل کننده سرعت حلالیت Fesimg بوده و موجب می گردد تا منیزیم به صورت یکنواختی در مذاب حل گردد. کلسیم با منیزیم تشکیل  $Mg_2ac$  داده که ماده پایدار است. لذا وجود کلسیم در آلیاژ باعث می گردد تا Fesimg سریعاً در مذاب حل نشده و آخرین مذابی که وارد محفظه قالب می گردد نیز محتوی مقدار لازم منیزیم باشد. از طرف دیگر کلسیم در مقایسه با منیزیم گوگرد زدای قوی تری بوده و هر دو تمایل به اکسیژن زدائی بیشتری دارند.

این احساس وجود دارد که در حضور منیزیم، کلسیم تمایل بیشتری به تشکیل سولفیدها و اکسیدها داشته و لذا منیزیم این امکان را خواهد یافت تا تنها به نقش اصلی خود یعنی کرووی نمودن گرافیتها پردازد. به هر حال تأثیر کلسیم به عنوان افزایش دهنده ناخالصیها و آخال و یا کاهش دهنده آنها نکات مبهمی هستند که نیاز به انجام تجربه های بیشتری دارند. سریم اگر چه اکسیژن گیر قوی در مذاب چدن است اما تدثیر بسیار زیادی بر زمینه چدن (قابلیت فریتز دائی) دارد. تأثیر دیگر سریم بر تعداد گرافیتهای کرووی در واحد سطح

می باشد. از طرف دیگر حضور لانتانیم باعث کاهش ناخالصیها و آخالها در مذاب می گردد. براساس تجربیات بدست آمده ترکیب شیمیایی دو نوع آلیاژ تجارتي که در آلمان جهت فرایند افزودن منیزیم در راهگاه بکار می رود در زیر ارائه شده است. ذکر این نکته لازم است که در ژاپن از انواع فروسیلیسیم منیزیم عاری از اکسیژن در فرایند نشکن و راهگاهها و آلیاژ (2) برای هنگامی است که از قراضه آهن و برگشتی قطعات و راهگاهها استفاده می گردد.

### گوگرد محتوی مذاب

ایده آلترین مقدار برای گوگرد محتوی مذاب حد زیر 0/01 درصد است. به هر حال در اکثر تجربه های انجام یافته در ایران مقدار گوگرد در 0/013 یا حتی 0/015 درصد بوده است. چنانچه تله های آشغالگیر به درستی به کار روند، حتی با گوگرد 0/02 درصد نیز می توان قطعات سالم و مرغوب تولید نمود. در چنین حالتی بایستی مقدار فرو سیلیسیم منیزیم مصرفی را به 1/1 تا 1/2 درصد افزایش داد. از آنجائیکه عمل گوگرد گیری را به سهولت می توان توسط کاربرد کلسیم یا آهنک کلسینه (ترجیحاً آهنک کلسینه + 5٪ فلور سپار) بطور اقتصادی انجام داد. لذا بهتر است که گوگرد مذاب مصرفی در فرایند افزودن منیزیم در راهگاه زیر 0/01 درصد باشد.

## عیوب در قطعات ریختگی و طرق رفع آنها

حضور عیوب زیر در قطعات ریختگی متحمل بوده که به سهولت می توان آنها را برطرف نمود.

### 1- ناخالصیها و آخالها

از آنجائیکه واکنش بین مذاب چدن و آلیاژ فرو سیلیسیم منیزیم در قالب انجام می گیرد، لذا وجود مقادیری ناخالصیها و آخالهای مضر در مذاب اجتناب ناپذیر است. اهم این ناخالصیها عبارتند از  $mgO$ ,  $SiC$ ,  $2MgSiO_2$ ,  $2CaMg_2S$  به همراه انواع اکسیدها. عدم توجه به نکات زیر موجب وارد شدن این ذرات به محفظه قالب می گردد.

الف- سیستم راهگاهی نامناسب و عدم پیش بینی تله های آشغالگیر و یا بزرگ نمودن مقاطع راهباره ها.

ب- بارریزی منقطع مذاب در قالب.

ج- عدم پر بودن راهگاهها از مذاب در تمام طول جریان بارریزی.

تجربه نشان داد که برطرف کردن نکات فوق به سهولت میسر بوده و اکثریت قریب به اتفاق قطعات تولیدی در ایران فاقد عیوب فوق بوده اند.

### 2- حفره های ریز در مجاورت گردن تغذیه

این حفره ها مربوط به عدم دقت در طراحی تغذیه های مناسب در قطعات بوده و به سهولت می توان با ارائه طراحی صحیح و کنترل درجه حرارت ریختن مذاب و افزایش کیفیت متالورژیکی مذاب این نوع عیوب را برطرف نمود.

### 3- احتمال ایجاد کشیدگی در سطح فوقانی بعضی از قطعات

چنانچه ظاهر سطح نشان دهد که کشیدگی حاصل از عدم تغذیه گذاری صحیح قطعه نیست، چنین عیبی را می توان به وجود بخار منیزیم در مذاب هنگام ورود به محفظه قالب دانست. در طول تجربیات انجام یافته تنها یک مورد از چنین عیبی مشاهده شده که مربوط به کوتاه بودن طول راهبار بود (بدلیل کوچک بودن درجه) در صورتیکه طول مسیر مذاب از محفظه فعل و انفعال به محفظه قالب طولانی باشد بخار منیزیم قبل از ورود به محفظه قالب جذب مذاب می گردد.

### نتیجه گیری

فرایند افزودن منیزیم در راهگاه به دلیل ویژگیهای تکنیکی و جاذبه های اقتصادی آن مورد پذیرش صنایع ریخته گری ایران قرار گرفته است. طبیعی است برای بهره وری کامل از چنین فرایندی لازم است تا دانش و بینش خود را به همراه تجربه افزایش دهیم. اطلاعات ارائه شده در این نوشته به استثناء قسمتهایی که به منابع ان مراجعه شده است، برداشت شخصی نویسندگان مقاله بوده و لذا می تواند مورد تردید و تجدید نظر قرار گیرد.

## فصل چهارم

### کاربرد قطعات چدن نشکن در صنعت

چدن نشکن یک ماده مهم مهندسی شناخته شده است. رشد و توسعه تولید قطعات چدن نشکن در صنایع مختلف اهمیت این ماده مهندسی را ثابت می نماید. عمده ترین مصرف قطعات چدن نشکن در صنعت لوله سازی و خودرو سازی می باشد. حدود 40٪ کل تولید چدن نشکن در جهان در صنعت لوله ریزی و حدود 20٪ در صنایع خودرو سازی مصرف می شود.

### چدن نشکن در صنعت خودرو سازی

صنعت خودرو سازی در تولید انبوه چدنهای نشکن سهم بزرگی دارد. این تقاضا پتانسیل تجاری بسیار خوبی را برای کارخانجات ریخته گری چدن نشکن به عنوان تأمین کنندگان این صنعت ایجاد می کند. ترکیب استثنائی، استحکام کششی بالا مقاومت به ضربه و خستگی، چقرمگی خوب، مقاومت با سایش و قابلیت ماشینکاری مطلوب قطعات چدنهای نشکن موفقیت این ماده را در صنعت خودرو سازی تضمین می کند.

قطعاتی نظیر آکسل، توپی چرخ، میل لنگها، منیفولد دود، انگشتی سوپاپ، بازوی انتقال دهنده نیرو، دنده های پینیون، اتصالات ترمز، چدن نشکن در ساخت چرخ دنده ها نمونه هایی از قطعاتی هستند که در خودرو سازی از چدن نشکن تولید می شوند.

## میل لنگ ها

میل لنگ خودرو یکی از موفقترین قطعات چدن نشکن می باشد و نخستین تفسیر برای این قطعه از فولاد آهنگری به چدن نشکن در سال 1951 انجام پذیرفت. این تفسیر از فولاد آهنگری به چدن نشکن دارای مزایای زیر بود:

1- کاهش قیمت تمام شده قطعه

2- خواص بهتر ماشین کاری و کاهش مقدار ماشین کاری

3- انعطاف بیشتر در طراحی

4- خاصیت جذب ارتعاش بهتر چدن نشکن که باعث کاهش لرزشهای پیچشی است.

میل لنگ خودرو باید دارای مشخصات مکانیکی و فیزیکی یکنواخت از جمله مقاومت خستگی بالا، سطح ماشین کاری شده مقاوم، سختی، مقاومت پیچشی خوب و خواص ماشینکاری مطلوب باشد.

برای تهیه میل لنگ از چدن نشکن آستمپر شده استفاده می شود. استفاده از چدن نشکن آستمپر شده موجب بالا رفتن استحکام در ضمن کاهش وزن قطعه می شود و سطح ماشینکاری شده مقاوم با ساختار بینایتی بدست می آید. دقت ابعاد قطعات تولید شده به روش قالبگیری شل (shell) و ماسه تر به اندازه ای است که نیازی به ماشینکاری زیاد ندارد.

## فصل پنجم :

### تولید میل لنگ به توسط افزودن منیزیم از طریق راهگاه

با توجه به اینکه هدف اصلی این پروژه بر امکان تولید عملی میل لنگ به توسط افزودن منیزیم از طریق راهگاه است . کارهای عملی مربوطه در حال انجام در یکی از کارخانجات تولید میل لنگ است که پس به پایان رسیدن کار عملی نتایج آن به صورت عملی برای استاد راهنما و کارخانه مربوطه ارائه خواهد شد .

## منابع مراجعه:

- 1- یحیی جافریان و فریدون توکلی پژوهشی در زمینه تولید چدن با گرافیت کروی از طریق افزودن منیزیم در راهگاه گزارش مرکز پژوهش متالورژی رازی 1362-1363
- 2- پرویز دوامی-یحیی جافریان، روشی نو در تولید چدن با گرافیت کروی افزودن منیزیم در راهگاه ریخته گری سال ششم پاییز 64 شماره 3.
- 3- مهرانگیز فضلی، پرویز دوامی تغذیه گذاری به روش تقلیل فشار روشی نو در تغذیه گذاری قطعات چدن با گرافیت کروی و چدن خاکستری، ریخته گری سال پنجم زمستان 63 شماره 4 .