

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

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





عنوان:

# بررسی فولادهای مقاوم به سایش

تهیه و تنظیم: حسین یعقوبی

# فهرست:

- ❖ فولادهای کربنی ساده.....6
- تأثیر عناصر آلیاژی در فولاد.....7
- کاربرد فولادهای کربنی ساده.....9
- خواص مکانیکی فولادهای کربنی.....10
- ❖ فولادهای مقاوم در برابر سایش.....11
- پدیده سایش.....11
- فولاد آستنیتی منگیزی.....15
- تأثیر عناصر آلیاژی در فولادهای آستنیتی منگیزی.....16
- ذوب فولاد آستنیتی منگیزی.....22
- ریخته گری قطعات فولاد آستنیتی منگیزی ..... 23

- عملیات حرارتی فولاد هادفیلد.....24
- تأثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی فولاد هادفیلد.....30
- جوشکاری فولاد هادفیلد.....32
- ماشینکاری فولادهای هادفیلد .....34
- ❖ فولادهای کم آلیاژ مقاوم به سایش.....36

## فولادهای کربنی :

فولادهای کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق می گردد که کربن اصلی ترین عنصر آلیاژی آن باشد و عناصری نظیر منگنز، سیلیسیم و آلومینیوم بمیزان کم در آن حضور داشته و فقط بمنظور اکسیژن زدائی به آن اضافه میگردند.

کربن نقش اساسی را در افزایش استحکام فولادها ایفا می کند و این استحکام تا حد زیادی بمیزان کربن موجود در آلیاژ بستگی دارد.

فولادهای کربنی کاربرد وسیعی در صنعت داشته و معمولا در حالت آنیل و یا نرمالیزه بکار میروند ولی در موارد خاص در حالت سختکاری و تمپر شده نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

همچنین فولادهای کم کربن بدلیل خواص هدایت مغناطیسی کاربرد زیادی در صنعت برق دارند.

در فولادهایی که بمنظور دستیابی به سختی سطحی، تحت عملیات سماتتاسیون قرار می گیرند بعلت ایجاد گرادیان غلظتی از فولادهای کم کربن استفاده میشود.

## تأثیر عناصر آلیاژی:

### کربن:

در فولادهای کربنی میزان کربن ممکن است از چند صدم درصد تا نزدیک به 2 تغییر کند. افزایش میزان کربن باعث بالا رفتن خواص سختی و استحکام فولاد میگردد و مقدار پرلیت را در ساختار میکروسکوپی افزایش میدهد تا اینکه در 8.8 کربن ساختار زمینه کاملاً پرلیتی خواهد شد. کربن نقش اساسی را در فولادها داراست و آبکاری آنها را ممکن می سازد. فولاد کمتر از 8.2 کربن عملاً آبکاری عملاً آبکاری نمی شود. بیش از این مقدار تا حدود 1.2 سختی فولاد پس از آبکاری به سرعت زیاد میشود. از این حد به بعد، سختی فولاد افزایش نیافته و خصوصیات چکش خواری خود را از دست میدهد.

### منگنز:

این عنصر خاصیت اکسیژن زدائی خوبی دارد. ترکیب شده و سولفید منگنز تشکیل میدهد و از ترکیب گوگرد با آهن جلوگیری میکند. بطور کلی بالا بودن مقدار منگنز باعث درشت شدن دانه های فولاد میشود. در حضور منگنز عملیات آهنگری راحتتر انجام میگردد. منگنز مقاومت و سختی را بالا برده و فولاد را جهت آبکاری آماده تر می نماید، منگنز اضافی فولاد را شکننده میکند.

### گوگرد:

گوگرد در فولاد بعنوان یک ناخالصی محسوب میشود. این عنصر با آهن یک ترکیب اتکتیکی با نقطه ذوب پائین بنام سولفید آهن میدهد.

این ترکیب در مرز دانه های فولاد نشسته و با توجه به نقطه ذوب پایین در حین عملیات حرارتی، ذوب شده و باعث گسیختگی و ترک میگردد.

وجود منگنز در فولاد بعثت میل ترکیبی بیشتر آن با گوگرد نسبت به آهن باعث تشکیل ترکیب می گردد. دارای نقطه ذوب بالاتری نسبت به می باشد و بهمین دلیل در اثر حضور منگنز، مسئله گسیختگی و ترک به حداقل ممکن می رسد.

عناصری نظیر اثرات مضر گوگرد را کاهش داده ولی عناصری چون اثر مضر گوگرد را تشدید میکنند. آخالهای گوگرد اثرات بسیار مضرى داشته و قابلیت جوشکاری و مقاومت در مقابل خوردگی را نیز کاهش میدهند.

به همین دلیل مقدار گوگرد در فولاد باید بسیار محدود و کم باشد و بسته به نوع فولاد درصد گوگرد از بوده و در فرآیند جوشکاری تا حد تقلیل می یابد و از این محدوده نباید تجاوز کند.

کاهش مقدار گوگرد باعث افزایش مقاومت به ضربه فولاد میگردد.

### فسفر:

فسفر در آهن حل شده و تشکیل فسفید آهن و فاز را میدهد، فسفر در آهن بشدت حد الاستیک و حد گسیختگی را بالا برده در حالیکه قابلیت پلاستیسیته را بطور قابل توجهی کاهش میدهد.

کاهش شکل پذیری در فولاد در اثر وجود فسفر خود به مقدار کربن موجود در فولاد بستگی داشته و هر چه مقدار آن بیشتر باشد اثر فسفر بر روی کاهش خاصیت یلاستیسیته



بیشتر است برای اکثر فولادها، فسفر یک ناخالصی محسوب می‌گردد و مقدار درصد آن بسته به مرغوبیت فولاد، نباید تجاوز کند.

### کاربرد فولادهای کربنی ساده

در این بخش، کاربرد فولادهای کربنی ساده را در سیه گروه کم کربن، کربن متوسط و پر کربن مورد بررسی قرار می‌دهیم.

گروه اول که فولادهای ساده کم کربن قرار دارند برای عموم قطعات مهندسی، ساختمان کشتیب‌ها، راه آهن بکار می‌روند. همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و در مواردی که قطعات تحت عملیات سختی سطحی استفاده قرار می‌گیرند.

در مواردی که قطعات ریخته شده می‌بایستی از سختی بالایی برخوردار باشند، فولادهای ساده پرکربن ساده و عاری از هر گونه عنصر آلیاژی، با ازدیاد درصد کربن خواصی از قبیل چقرمگی و قابلیت جوشکاری کاهش پیدا کرده و در مقابل، استحکام آن افزایش می‌یابد.

اگر یک فولاد کربنی را به آهستگی داخل یک قالب سرد کنیم، فاز دلتا اولین فاز جامدی است که بوجود می‌آید، در صورتی که سیکل سرد کردن این فولاد را ادامه دهیم فاز آستنیت از فاز جوانه زده و با کاهش بیشتر درجه حرارت آستنیت به فاز فریت بصورت ساختار صفحه‌ای ویدمن‌اشتاین تبدیل می‌گردد. در دمای یوتکتوئیدی آستنیت باقیمانده به پرلیت تحول یافته که نتیجتاً پس از انجماد، ساختار نهایی بصورت فاز فریتی ویدمن

اشتاین (مناطق روشن) که در مرز دانه های آستنیت رسوب کرده و لایه های تیره رنگ فریت و سمنتیت (پرلیت) خواهد بود.

بطور کلی این فولاد در شرایط ریختگی از خواص پائینی برخوردار می باشد که جهت دستیابی به خواص بهتر آنرا داخل کوره تا دمای آستنیت حرارت می دهند که میزان دمای کوره به درصد کربن فولاد بستگی دارد. برای دسترسی به خواص و ساختار مورد نظر، آنها را با سرعت مناسبی سرد می کنند. با افزایش درصد کربن به میزان پرلیت افزوده شده، در نتیجه استحکام فولاد افزایش می یابد.

### خواص مکانیکی فولادهای کربنی:

همانطوری که میدانیم، میتوان فولادهای کربنی با خواص استحکامی متنوعی تولید کرد: با انتخاب ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی مناسب، مجموعه ای از خواص نظیر استحکام، سختی، انعطاف پذیری، مقاومت به خستگی و استحکام ضربه ای، قابل دسترس می باشد. ولی رابطه بین این خواص از نکات مهم و قابل توجه میباشند، مثلاً سختی بالا، چقرمگی را به همراه دارد و قابلیت انعطاف پذیری کم با استحکام بالا همراه است.

در فولادهای کربنی با توجه به ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی مناسب به استحکام کششی بالاتر از 988 نیز می توان دست یافت. استحکام کششی و سختی فولادهای کربنی رابطه مستقیمی با انعطاف پذیری آنها دارد. استحکام کششی و انعطاف پذیری فولادهای کربنی را با توجه به سختی های مختلف نشان میدهد، همچنین در فولادهای کربنی عملیات

حرارتی و میزان کربن تعیین کننده سختی و استحکام فولادهای کربنی کوئنچ - تمپر شده در مقایسه با فولادهای کربنی نرمالیزه - تمپر شده انعطاف پذیری کمتری دارند.

## فولادهای مقاوم در برابر سایش

### مقدمه

پیدایش آلیاژهای گوناگون مقاوم در برابر سایش، بدلیل تنوعی است که در پدیده های سایش وجود دارد. از نظر چقرمگی و مقاومت در برابر سایش، میتوان آلیاژهای فوق الذکر را به گروه های، فولادهای کم آلیاژپرلیتی و مارتنزیتی، فولادهای هادفیلد و چدنهای پرکم تقسیم بندی نمود. نکته مهم این است که هر آلیاژ مقاوم به سایشی نمیتواند کاربرد مناسبی در برابر انواع سایش، تنها با شناخت دقیق نوع سایش و آگاهی داشتن به خواص آلیاژ مورد نیاز امکان پذیر میباشد. برای مثال فولادهای هادفیلد و فولادهای کم آلیاژ پرلیتی و مارتنزیتی، هر دو در مقابل سایش از نوع کندگی مقاوم میباشند ولی اگر شدت ضربه های وارده به سطح در حال سایش زیاد باشد از فولادهای هادفیلد و اگر کم باشد از فولادهای کم آلیاژ پرلیتی و مارتنزیتی استفاده میگردد.

### پدیده سایش

یکی از اساسی ترین مشکلاتی که در صنعت با آن مواجه بوده و رفع آن، داشتن اطلاعات کاربردی دقیقی را طلب میکند، پدیده سایش میباشد. لغزش یک ماده یا یک سطح روی

سطحی دیگر که در واقع یک کار مکانیکی محسوب میشود، باعث کنده شدن ذرات موجود در سطح گشته و سایش سطحی را بوجود می آورد.

حال اگر قطعه مورد نظر برای مدت کوتاهی مثلاً دو هفته مورد استفاده قرار نگیرد، در اثر واکنش شیمیایی اکسیداسیون، سطح آن زنگ زده و این زنگ زدگی بصورت یک فیلم نازک روی سطح را می پوشاند که پس از استفاده مجدد از قطعه، سایشی که در اثر کار مکانیکی بوجود می آید، شدیدتر خواهد بود. اغلب فرآیندهای سایشی در اثر برش یا تراش بوجود می آیند. مثلاً در اثر عملیات ماشینکاری، یک وسیله ساینده در سطح فلز فرو رفته و باعث کنده شدن ذرات سطح میگردد. براده هایی که محل سایش بدست می آیند حاوی ذرات بسیار ریزی هستند که از قلم تراش در حین عملیات ماشینکاری جدا میشوند. جهت انجام پدیده سایش، لازم است سختی فلز ساینده از فلز تحت سایش بیشتر باشد، در غیر اینصورت پدیده سایش شبیه خوردگی و اکسیداسیون بوده و سایش ناچیزی بوجود خواهد آمد.

عوامل مؤثر بر سایش به دو دسته متالورژیکی و کاربردی تقسیم میشوند که سختی، چقرمگی، ساختار میکروسکوپی و ترکیب شیمیایی را از عوامل متالورژیکی، و نوع ساینده و مشخصات آن، سرعت، روش و نوع بارگذاری را از عوامل کاربردی میتوان نام برد.

### سایش توسط ساینده ها

سایش در اثر عوامل متعددی پیش می آید، لذا شناخت انواع سایش، انتخاب مقاومترین ماده در مقابل آنرا میسر میسازد.

سایشی که توسط ساینده ها صورت می گیرد یکی از انواع مهم آن بشمار می رود که حدودا 58٪ کل سایش موجود در صنعت را به خود اختصاص میدهد. حضور مواد ساینده فلزی و غیر فلزی و یا موادی که از محیط خارج اضافه میشوند سبب بروز این نوع سایش میگردند. طبق نظریه سایش تحت تنش های پائین سایش تحت تنش های بالا و یا آسیاب کرد.

### سایش تحت تنش های پائین

این نوع سایش هنگامی اتفاق می افتد که مواد ساینده با آزادی روی سطح مورد نظر حرکت نمایند. در اینحالت، تنش های اعمال شده توسط ذرات سایندهء خرد نشده و نیز میزان تغییر شکل روی سطح حداقل بوده و تنها خراشهای سطحی دیده میشود. این نوع سایش در تجهیزات انتقال مواد جامد نظیر ناودانی ها، بونکرها، سرندهای ویبره ای و غیره مشاهده میگردد.

### سایش تحت تنش های بالا یا آسیاب کردن

این نوع سایش هنگامی اتفاق می افتد که دو سطح در حضور ذرات ساینده ای که بین آنها قرار میگیرند، روی هم حرکت نموده و یا بار از یک سطح به سطح دیگر اعمال شود. بار اعمال شده نسبت به کل سطح، کم میباشد، اما تنش های موازی اعمال شده بر ذرات بقدری بالا است که ذرات ساینده را خرد مینماید و در صورت پائین بودن استحکام تسلیم یا سختی سطوح، موجب تغییر شکل پلاستیک شده و سبب بروز ترکهای ریز و خراش در

سطوح میشود. این نوع سایش در صنعت سیمان نظیر آستر آسیابهای گلوله ای و گلوله های آسیاب مشاهده میگردد.

### سایش در اثر کندگی

این نوع سایش هنگامی اتفاق می افتد که ذرات ساینده نظیر کلوخه های ساینده با چنان ضربه ای به سطوح مورد نظر برخورد می نمایند که ذرات درشت از سطوح سایشی کنده شده و در نتیجه شیارهای عمیقی روی سطوح بوجود می آید. این نوع سایش در خطوط انتقال کلوخه های بزرگ، خردکننده های فکی و غیره مشاهده میگردد.

### سایش در اثر ضربه

در این نوع سایش بر خلاف سایش در اثر کندگی، عملی که عمدتاً سبب سایش میشود بجای حرکت ذرات ساینده روی سطوح، ضربه های وارد شده توسط ذرات ساینده میباشد. عبارتی دیگر تمایز این نوع سایش با سایش در اثر کندگی از جهت اعمال نیروهای ضربه ای بالاتر می باشد. مکانیزم عمل این نوع سایش بصورت ایجاد خطوطی در سطوح و نهایتاً کندگی در مقیاس میکروسکوپی میباشد. این نوع سایش در چکشهای خردکننده سنگهای معدنی مشاهده میگردد.

## فولاد آستنیتی منگیزی:

فولاد آستنیتی منگیزی (حاوی حدود 1.2 درصد کربن و 12 درصد منگنز) در سال 1882 به وسیله رابرت هادفیلد ابداع و معرفی گردید و به افتخار این ابداع به نام هادفیلد معروف شد. این فولاد بدلیل دارا بودن ترکیبی مناسب از چقرمگی، انعطاف پذیری، قابلیت کار سختی و مقاومت عالی در مقابل سایش منحصر به فرد است و به عنوان یک ماده مهندسی دارای کاربرد وسیع در موارد ویژه است.

فولاد هادفیلد به دلیل ویژگیهای ذکر شده در ساخت قطعات مورد استفاده در تجهیزات، دستگاه ها و ماشین آلات صنایع راه سازی، معدنی، سیمان، راه آهن، حفاری چاههای نفت، لایروبی، سنگ های ساختمانی و تزئینی، چوب و صنعت فولاد سازی به کار گرفته می شود.

این فولادها با داشتن ویژگیهای عالی و منحصر به فرد دارای محدودیتهایی می باشند که کاربرد آن را در موارد ویژه محدود می کند که عبارتند از:

دارای قابلیت ماشینکاری بسیار کمی است.

استحکام تسلیم آن کم و در محدوده 31 قرار دارد.

طولانی تری با سطح دارند، در اثر فشاری که در بین فکهای دستگاه به این مواد وارد میشود، نیروی بیشتری به سطح وارد میکنند. در نتیجه میزان کار سختی افزایش یافته و سختی به حدود میرسد.

مکانیزم کار سختی در دستگاه سوم که سنگ شکن مخروطی (کن کیو) میباشد نیز همانند دستگاه سنگ شکن فکی بوده با این تفاوت که در این دستگاه فشار بیشتری طرف مواد ساینده به سطح وارد میشود و در نتیجه باعث بالا رفتن میزان کار سختی شده و سختی به حدود نیز میرسد. (زیرا در اثر فشار بیشتر، سرعت انجام استحاله بیشتر می شود).

ساختار میکروسکوپی این نوع فولادها شامل آستنیت و سمنتیتی است که در مرز دانه های آستنیت رسوب کرده است.

موارد کاربرد، خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی چهار نوع فولاد هادفیلد را که از کاربردی ترین نوع فولادهای هادفیلد میباشند، آورده شده است.

### تأثیر عناصر آلیاژی

عناصر آلیاژی بمنظور افزایش نقطه تسلیم یا بهبود قابلیت جوشکاری به فولاد آستنیتی منگنزی اضافه میشوند.

**کربن:** میزان کربن در این فولادها تعیین کننده میزان مقاومت به سایش و تنش تسلیم میباشد.

حداکثر استحکام کششی در 1.2 کربن حاصل می شود. استحکام تسلیم با افزایش کربن از 8.7 تا 17 درصد به صورت تدریجی افزایش می یابد. با افزایش میزان کربن به بیش از 1.2 کربن استحکام کششی کاهش مییابد.



در صورتیکه مقدار کربن از 1.1 بیشتر شود، نگهداری آن به صورت محلول در آستنیت مشکل شده و این پدیده باعث کاهش بیش از حد استحکام کششی و انعطاف پذیری می گردد. در هر حال چون افزایش کربن تا حد 1.4 مقاومت در مقابل سایش را افزایش می دهد، در اغلب موارد ترجیح داده می شود که از این مقدار کربن استفاده شود.

حصول ساختار آستنیتی عاری از شبکه فاز کاربید در فولادهایی که کربن آن ها بیش از 1.4 است بسیار مشکل است و بنابراین افزایش کربن به بیش از 1.4 بندرت صورت می گیرد. در قطعات ضخیم یا قطعاتی که جوشکاری می شوند، می توان از حداقل کربن (میزان 8.7) در فولادهای هادفیلد حاوی مولیبدن و نیکل استفاده کرد. علاوه بر این هنگام جوشکاری نیز استفاده از سیم های پرکننده با کربن کم توصیه می گردد.

. همانطوری که مشاهده می گردد با افزایش درصد کربن میزان رسوبات سمنتیت در مرز دانه های آستنیت بیشتر شده بطوریکه وقتی میزان رسوبات سمنتیت در مرز دانه های آستنیت بیشتر شده بطوریکه وقتی میزان کربن به بیش از 1.2 برسد، رسوبات درشت سمنتیت بوجود آمده در مرز دانه های آستنیت مشکلاتی را در ریخته گری و عملیات حرارتی بوجود می آورند زیرا سمنتیت حل نشده در آستنیت پس از عملیات حرارتی، باعث کاهش چقرمگی فولاد می گردد.

## منگنز:

عنصر منگنز به عنوان عامل پایدار کننده آستنیت به کار گرفته می شود و نقش آن به تأخیر انداختن استحاله آستنیت در 788 در مدت 15 ثانیه انجام میشود . در صورتیکه در فولادی با 13 درصد منگنز انجام این استحاله در 378 به 48 ساعت زمان نیاز دارد. کاهش میزان منگنز از 13 درصد به 18 درصد در بعضی از کاربردها مثل کفشکهای تراکتور باعث بهبود در مقاومت به سایش میشود.

اگر میزان منگنز به کمتر از 18 درصد برسد، عملاً درصد ازدیاد طول نسبی به نصف مقدار عادی خود میرسد.

در خواص مکانیکی فولاد هادفیلد محتوی 1.15 درصد کربن و مقادیر مختلف منگنز نشان داده شده است. این نمودارها تأیید کننده مشاهدات و تجربیات تعداد زیادی از پژوهشگران از جمله رابرت هادفیلد می باشد.

میزان منگنز تأثیر اندکی بر استحکام تسلیم دارد.

میزان منگنز تا 14 درصد استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی را افزایش میدهد و از 14 درصد به بالا این ویژگیها کاهش می یابند.

## سیلیسیم:

کلیه فولادهای هادفیلد حاوی مقادیر معینی سیلیسیم هستند. این عنصر بندرت بعنوان عنصر آلیاژی به فولادهای هادفیلد اضافه می شود و حضور آن بدلیل اکسیژن زدائی و بهبود سیالیت مذاب می باشد. عنصر سیلیسیم تا حد 2 درصد استحکام تسلیم فولاد هادفیلد را به

مقدار کم افزایش می دهد و قطعات را در مقابل تغییر شکل پلاستیک در حالتی که تحت ضربات مداوم قرار دارند، مقاوم می کند.

در بالاتر از 2.2 درصد سیلیسیم کاهش سریع در استحکام و انعطاف پذیری حاصل می گردد و فولادهای حاوی بیش از 2.3 درصد سیلیسیم قابلیت کار پذیری ندارند.

### نیکل:

عنصر نیکل تا حد 4 درصد یا بیشتر برای تثبیت فاز آستنیت بکار گرفته می شود این عنصر مخصوصاً در جلوگیری از ایجاد کاربیدهایی که در محدوده حرارتی 388 تا 588 بوجود می آیند، مؤثر است. بطور مثال وجود نیکل خطر رسوب سمانتیت را که ناشی از آهسته خنک شدن قطعه پس از عملیات جوشکاری می باشد بشدت کاهش می دهد. در قطعاتی که احتمال ترک یا تابیدگی وجود دارد با افزودن 3-5 درصد نیکل می توانیم آنها را بجای کوئینچ در آب در هوا خنک کنیم.

نیکل استحاله آستنیت به مارتنزیت را در طول کارکرد قطعه کندتر و مقدار سختی را کاهش می دهد. در نتیجه این دسته از فولادها در حضور نیکل، مقاومت به سایش کمتری را از خود نشان می دهند.

در نمودارهای تأثیر عنصر نیکل بر خواص مکانیکی فولاد هادفیلد محتوی 15 درصد منگنز و 1.1، 2.1 کربن نشان داده شده است. استحکام کششی را کاهش داده و در حد بیش از 5 درصد تأثیر آن بر استحکام کششی قابل صرف نظر کردن است. تأثیر چندانی بر استحکام تسلیم ندارد.

انعطاف پذیری را به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می دهد.

نیکل به دلیل تأثیری که در تثبیت آستنیت دارد عموماً در فولادهای هادفیلد با میزان کربن کم افزوده می شود تا خاصیت جوشکاری آنها را افزایش دهد.

**کرم:** عنصر کرم در محدوده 1.8 – 2.2 برای افزایش استحکام تسلیم به این خانواده از فولادها اضافه می شود. افزایش کرم باعث تشکیل کاربیدها در مرز دانه ها شده ولی از آنجائیکه این کاربیدها کروی شکل بوده تأثیر کمتری در کاهش چقرمگی خواهد داشت. اصولاً کرم بمنظور بهبود مقاومت به سایش اضافه میشود.

عنصر کرم باعث افزایش استحکام تسلیم می گردد.

تا حد 2 درصد تأثیر چندانی بر کاهش استحکام کششی ندارد ولی از 2 درصد بیشتر موجب کاهش تدریجی استحکام و در بیش از 4 درصد کاهش قابل استحکام کششی می گردد.

در محدوده بیش از 2.5 درصد انعطاف پذیری را به شدت کاهش می دهد.

**مولیبدن:** عنصر مولیبدن در محدوده 2 درصد 8.5 انعطاف پذیری به این خانواده از فولادها اضافه می شود. فولادهای آستنیتی منگیزی بطور معمول دارای تنش تسلیم پائینی بوده و در نتیجه احتمال تغییر شکل در بعضی از کاربردها مثل فک سنگ شکنهای بزرگ یا مانند کانکرهای بزرگ وجود دارد. افزایش مولیبدن به میزان 2 درصد تسلیم این فولادها را افزایش میدهد و محدودیت کاربردی قطعات منگیزی را از بین می برد و باید به این

نکته توجه کرد که مولیبدن نقطه تسلیم قطعه را بدون کاهشی در چقرمگی آن افزایش می دهد.

مولیبدن نیز مانند نیکل پایدار کننده آستنیت بوده ولی برخلاف نیکل، موجب کاهش کار سختی در حین کار نمی گردد.

در تأثیر عنصر مولیبدن بر خواص مکانیکی فولاد هادفیلد حاوی 15 درصد منگنز و 1.2 – 1.1 کربن نشان داده شده است. عنصر مولیبدن تأثیر زیر را بر خواص مکانیکی این خانواده از فولادها دارد:

استحکام تسلیم را افزایش می دهد.

تا میزان 1.5 درصد انعطاف پذیری را افزایش می دهد.

علاوه بر این مولیبدن برای جلوگیری از ترک خوردن قطعات در حالت ریختگی و افزایش چقرمگی مورد استفاده قرار می گیرد.

### تیتانیم:

استفاده از عنصر تیتانیم برای خنثی کردن اثر فسفر در کشورهای اروپائی متداول است. این عنصر با ایجاد کاربیدهای پایدار میزان کربن محلول در آستنیت را کاهش داده و در نتیجه خواص آن معادل رده های کم کربن فولاد هادفیلد است حضور تیتانیم باعث بهبود ساختار قطعه پس از انجماد شده (قطعه را دانه ریز می کند) و با ایجاد مقاومت در برابر

تردی حساسیت نسبت به سیکل عملیات حرارتی در قطعه را کاهش داده و بنابراین قطعه را از خطر ترک برداشتن در طول عملیات حرارتی محافظت می کند.

حضور تیتانیوم تا 8.4 باعث افزایش ازدیاد طول نسبی و استحکام کششی شده ولی از این حد بیشتر بعلت بوجود آوردن رسوبات کاربیدی و نیتریدی باعث کاهش چقرمگی می گردد.

### ذوب فولاد آستنیتی منگیزی:

کوره القائی جهت ذوب فولاد آستنیتی منگیزی مناسب می باشد. به منظور جلوگیری از واکنش شدید بین منگنز و اکسید منگنز با سیلیس موجود در خاک سیلیسی ، میتوان از نسوزهای مگنزیتی یا خنثی (آلومینا) استفاده نمود. برگشتی های فولاد آستنیتی منگیزی، قراضه داغی یا قراضه آهن با افزایش مواد فروآلیاژ و کربن میتوان بعنوان موارد شارژ کوره بکار برد. دمای ریختن مذاب این فولاد اهمیت ویژه ای دارد. سیالیت فولاد آستنیتی منگیزی از فولادهای کربنی بیشتر می باشد.

در هنگام ریختن قطعات فولاد آستنیتی منگیزی باید تا حد امکان دو پارامتر اساسی زیرا را رعایت نمود.

دمای بارریزی پائین

سرعت بارریزی بالا.

دمای ریختن باید نسبت به شکل و ضخامت قطعه انتخاب گردد، برای مثال قطعات نازک باید در دمای بالاتری ریخته شوند تا از عیوب ریختگی جلوگیری شود. به عبارت دیگر، قطعات ضخیم با اشکال ساده در دمای حدود 1428-1458 ریخته میشوند.

دمای ریختن روی اندامه اثر می گذارد و مشخصات ضربه ای نیز متأثر از اندامه دانه می باشد. رابطه بین دمای ریختن و مشخصات ضربه ای فولاد آستنیتی منگیزی را نشان می دهد .

### ریخته گری قطعات فولاد آستنیتی منگیزی:

اصولاً ریخته گری قطعات فولادی آستنیتی منگیزی مانند سایر قطعات فولادی است و تغذیه گذاری بگونه ای طراحی می شود که انجماد جهت دار ایجاد گردد.

طراحی راهگاه بارریز، راهگاه اصلی و راهگاه فرعی باید بگونه ای باشد که مذاب سریع داخل قالب ریخته شود. تجربه نشان داده است که در مورد فولاد آستنیتی منگیزی می بایستی نکات زیر را مدنظر قرار داد.

انقباض مدل را باید کمی بیشتر از 15.28 فولاد کربنی در نظر گرفت.

بدلیل وجود کربن بالا و حضور سماتیت در ساختار میکروسکوپی (در حالت ریختگی) و هدایت حرارت کم، احتمال ترک خوردگی در بعضی از قطعات، یا ترک خوردگی در بعضی از اوقات، یا ترک خوردن هنگام برش تغذیه ها توسط گاز وجود دارد.

اصولاً در قطعات ضخیم با تغذیه های بزرگ، عملیات برش تغذیه ها، پس از عملیات حرارتی توصیه میشود. راه دیگر استفاده از تغذیه های گردن باریک میباشد که از ماهیچه

های برشی ساخته شده اند.نسبت ارتفاع تغذیه فولاد آستنیتی منگیزی 28.38 بیشتر از فولادهای کربنی میباشد.

فولاد آستنیتی منگیزی را میتوان در انواع قالبهای ماسه تر ماسه خشک (فوران با کاتالیست بازی، سیلیکات سدیم ) ریخته گری کرد.

مذاب فولاد آستنیتی منگیزی با مواد نسوز اسیدی بشدت واکنش داده و ماسه سوزی شدیدی را بوجود می آورد . همچنین، با سیلیس موجود در ماسه سیلیسی واکنش داده، یوتکتیکی را بوجود در ماسه سیلیسی واکنش داده ترکیب یوتکتیکی را بوجود آورده که این ترکیب بدلیل نقطه ذوب پایین تر باعث ماسه سوزی شدید میشود.

ماسه کرومیت و الوین مناسبترین ماسه برای قالبگیری میباشد که ترکیب شیمیایی بشرح زیر میباشد.

### عملیات حرارتی فولاد هادفیلد:

انجام عملیات حرارتی روی فولاد هادفیلد باعث می شود که بتوان آن را با اطمینان کامل در محدودهء بسیار وسیعی از کاربردهای ویژهء مهندسی به کار گرفت. عملیات حرارتی متداول برای این فولاد انجام عملیات حرارتی آنیل محلول و سپس سرد کردن سریع در حمام آب است. هر چند که ساختار کاملاً آستنیتی و عاری از هر گونه فاز کاربید، ساختار مطلوب است ولی این ساختار، بخصوص در قطعات با ضخامت زیاد و فولادهای حاوی عناصر کاربیزا نظیر کرم مولیبدن، وانادیم و تیتانیم همیشه قابل دستیابی نیست. در هر حال



اگر فاز کاربید در ساختار میکروسکوپی موجود باشد، حالت پراکنده و غیر پیوسته آن از حالت پیوسته و شبکه ای در مرز دانه ها مطلوب تر است.

## گرم کردن:

هدایت حرارتی فولاد آستنیتی منگیزی تقریباً  $1/4$  فولاد کربنی و ضریب انبساط حرارتی آن 1.5 برابر فولاد کربنی میباشد، بهمین دلیل سرعت گرم کردن باید آهسته باشد. اگر سرعت گرم کردن را بالاتر در نظر بگیریم، شیب حرارتی بین سطح و مغز قطعه بوجود آمده و تنشهای حرارتی ایجاد میشود که ممکن است ترک خوردگی قطعه را بدنبال داشته باشد.

در هنگام گرم کردن رعایت موارد ذیل الزامی است.

گرم کردن باید آهسته صورت بگیرد .

قبل از شارژ دمای کوره نباید بالاتر از 258 باشد.

اصولاً میزان گرم کردن فولاد آستنیتی منگیزی 188 میباشد ولی در مورد فولادهای آستنیتی منگیزی مولیبدن دار ، نباید میزان گرم کردن از 78 در ساعت بیشتر باشد.

## قطعات با ضخامت بالا:

با افزایش ضخامت ریختگی، سرعت سرد شدن قطعه در قالب کاهش یافته و در نتیجه فاز کاربید زمان کافی برای رسوب کردن خواهد یافت این پدیده بخصوص در قطعاتی که اشکال تنش پذیر دارند (نظیر استوانه و مخروط) تمایل به شکنندگی را افزایش می دهد.

تنشهای ایجاد شده نتیجه تغییر حجم قطعه در اثر ایجاد فاز کاربید و استحاله آستنیت می باشد.

پدیده شکست ناشی از تغییرات ابعادی قطعه عموماً در محدوده حرارتی (588-858) هنگام سرد شدن قطعه در قالب و یا هنگام حرارت دادن مجدد قطعه برای آستنیت کردن رخ می دهد.

بین دمای 858-788، تنها فاز کاربید در اطراف دانه های آستنیت و بصورت مناطقی لایه ای شکل درون دانه ها بوجود می آید. این مناطق بظاهر شبیه پرلیت درشت ساختار هستند ولی در واقع صفحاتی از فاز کاربید در زمینه آستنیتی می باشند در پائین تر از 788 و عمدتاً بین 658-558 درجه سانتیگراد مناطق پرلیتی با جوانه زنی پرلیت اطراف فاز کاربید قبلی بوجود می آیند و سریعاً رشد می کنند. در فاز آستنیت حاوی بیش از 1.1 درصد کربن تمایل به ایجاد فاز کاربید در پائین تر از 688 نیز وجود دارد و این تشکیل فاز کاربید می تواند تا حدود 388 در فولاد 1.2 کربن و 12 منگنز ادامه یابد. در اینحالت امکان دگرگونی آستنیت فقیر شده از کربن به مارتنیت در نزدیکی درجه حرارت اتاق وجود نخواهد داشت.

### دمای آستنیت کردن:

دمای آستنیت کردن فولادهای هادفیلد حدود 1858-958 می باشد. افزایش درجه حرارت و یا نگهداری به مدت 1 تا 2 ساعت در این دما برای حل کردن فاز کاربید کافی

میباشد. در فولادهای هادفیلد با کربن 1.5 - 1.4 دمای ذکر شده برای آستنیت کردن بالاست زیرا امکان ذوب اولیه در منطقه جدایش کربن وجود دارد و همینطور اکسیداسیون و دگرپوره شدن بیش از حد معمول خواهد بود و از طرفی امکان عملی سریع سرد کردن قطعه وجود نخواهد داشت.

در فولادهای هادفیلد بطور معمول افزایش درجه حرارت آستنیت کردن باعث حلالیت کامل سمنتیت در آستنیت شده و این عمل از استحاله آستنیت به پرلیت در حین کوئنچ کردن جلوگیری نموده و نتیجتاً ساختار کاملاً آستنیتی با خواص مقاومت به ضربه بهتر حاصل می گردد.

در فولاد آستنیتی منگیزی مولیبدن دار که حاوی کاربید مولیبدن می باشد دمای آستنیت کردن تا 1158 افزایش می یابد. روش معمول در عملیات حرارتی فولادهای هادفیلد عبارتست از:

حرارت دادن آهسته تا دمای 1898 - 958

نگهداری در این درجهء حرارت به مدت 1.2 ساعت.

سرد کردن سریع در حمام متلاطم آب.

برای ردهء فولادهای هادفیلد حاوی مقادیری مولیبدن روش اصلاح شده زیر پیشنهاد می شود:

حرارت دادن قطعه ریختگی تا 688 و نگهداری در این درجهء حرارت به مدت 8-12 ساعت که این عملیات حرارتی باعث ایجاد مقادیر معینی پرلیت در ساختار می گردد.

حرارت دادن قطعه از 688 درجه سانتیگراد به حدود 988 درجه سانتیگراد، که درون دانه های آستنیت جای دارند. این ذرات تا زمانی که درجه حرارت به بالاتر از 1888 نرسد پایدار می مانند.

سرد کردن سریع قطعات در حمام متلاطم آب این عملیات حرارتی اصلاح شده باعث می گردد که ساختاری متشکل از زمینه آستنیتی به همراه ذرات پراکنده و ریز کاربید در آن تشکیل گردد. چنین فولادی دارای استحکام تسلیم بالاتر، سختی بالاتر و انعطاف پذیری کمتر از فولادهای هادفیلد عملیات حرارتی شده با روش معمول است.

سرعت سرد کردن قطعات آستنیت شده در حمام متلاطم آب در تأمین ساختار مطلوب، بسیار مهم است ولی باید توجه داشت که این سرعت را نمی توان از حد انتقال حرارت فلز داغ به آب تلاطم افزایش داد. در نتیجه قطعات با ضخامت بیشتر خواص مکانیکی کمتری در مغز نسبت به قطعات با ضخامت کمتر دارند ولی در فولادهای آستنیتی منگیزی بدون مولیبدن یا نیکل، احتمال رسوب سمنتیت یا وجود مقداری پرلیت در کنار آستنیت پس از کوئنچ کردن مخصوصاً در مقاطع ضخیم وجود دارد. بنابراین در این نوع فولادها سرعت سرد کردن تا حدی بالا بوده و حتی از سیستم آبگرد مناسبی استفاده می شود تا از بالا رفتن دمای آب جلوگیری بعمل آید.

نحوه گرم کردن قطعات ضخیم فولاد آستنیتی منگیزی مویبدن دار بشرح زیر میباشد:  
قطعه را از دمای 28 با سرعت 78 تا دمای 688 گرم کرده و مدت 4-6 ساعت در این دما نگهداشته و سپس آنرا با سرعت 188، تا دمای 1158 گرم می کنیم. در نمودار شکل

(4-18) سرعت سرد شدن برای ضخامت های مختلف نشان داده شده است و در جدول 4-2 خواص مکانیکی فولادهای مذکور ارائه شده است.

تنش های پس ماند حاصل از سرد کردن سریع عموماً در قطعات ضخیم باعث کاهش خواص مکانیکی این قطعات می گردد. با توجه به این نکته، حداکثر ضخامت مطلوب برای تولید فولاد هادفیلد 125-158 میلی متر است. در هر حال قطعاتی تا ضخامت 488 میلی متر نیز از این فولاد تولید می شوند. در فولادهایی که عمل آستنیته کردن آنها با درجهء حرارت بالا صورت می گیرد، پدیدهء دکربوره شدن و کاهش منگنز در سطح انجام می شود. پدیدهء دکربوره شدن ممکن است تا عمق بیش از 3 میلی متر نیز وسعت یابد و ساختار میکروسکوپی در منطقهء دکربوره شده کاملاً یا قسمتی مارتنزیتی گردد. لایه های مارتنزیتی شده عموماً خواص نامطلوبی در مقایسه با مغز قطعه از خود نشان می دهند. پدیدهء دکربوره شدن و تشکیل لایه مارتنزیتی در قطعاتی که تحت سایش قرار دارند (نظیر قطعات مورد استفاده در آسیاب های خرد کننده)، قابل صرف نظر کردن است زیرا این لایه در حین کار در اثر فرسایش از بین می رود.

تغییر شکل قطعه تحت اعمال نیروهای کششی، در برخی موارد باعث ایجاد ترک های متعدد سطحی در لایهء دکربوره شده می شود. این ترک ها پس از رسیدن به فاز آستنیت محدود می شوند و حضور آنها خطرات جدی دربرخواهد داشت مگر اینکه شرایط کاری بسیار بحرانی و همراه با پدیدهء خستگی باشد، یا اینکه ضخامت قطعه ریختگی کم باشد. در چنین حالتی شکست زود هنگام رخ می دهد. در چنین مواردی استفاده از فولاد هادفیلد

که 6 کرم باشد توصیه می گردد. افزودن کرم باعث می شود که فولاد در مقابل دکرپوره شدن مقاوم گردد. در موارد خاص با پوشش دادن سطح قطعات ریختگی با ترکیبات آلی و غیر آلی از پدیده دکرپوره شدن جلوگیری می شود.

### تمپر کردن:

می بایستی دقت کرد که پس از کوئنچ کردن در آب نباید عمل تمپر کردن انجام شود، زیرا باعث رسوب سمیتیت و کاهش چقرمگی قطعه میشود

### تأثیر عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی فولاد هادفیلد:

خواص مکانیکی فولاد هادفیلد در حالت عملیات حرارتی شده ، به ضخامت قطعه بستگی زیادی دارد. با افزایش ضخامت، استحکام و انعطاف پذیری کاهش می یابد. در قطعات با ضخامت زیاد سرعت انجماد در قالب بسیار کند می باشد و بنابراین دانه های آستنیت بجز در شرایط خاص و کنترل شده درشت خواهد شد و اندازه دانه ها در عملیات حرارتی تمایل به درشت تر شدن دارد. پس با انجام عملیات حرارتی نمی توان دانه های آستنیت را ریز کرد و اندازه آنها به شرایط ریخته گری بستگی دارد. مطابق این اعداد استحکام و ازدیاد طول نسبی در قطعات دانه ریز حدود 38 درصد بیشتر از دانه درشت است. اندازه دانه را عموماً برای مجزا کردن فولادهای هادفیلد کار شده با ریختگی به کار می گیرند. در فولادهای هادفیلد کار شده عموماً اندازه دانه ها مقاومت در مقابل ضربه فولاد هادفیلد

بسیار بالا است و عموماً نمونه های آزمایش ضربه به جای شکسته شدن، در دستگاه خم می شوند. در آزمایش ضربه آماده سازی نمونه ضربه بسیار مهم است و برخی مواقع به علت انجام ماشین کاری نامناسب درشکاف ایجاد شده کار سختی صورت می گیرد و اعداد بدست آمده گویای واقعی مقاومت در مقابل ضربه قطعات نیستند.

فولاد هادفیلد چقرمگی خود را در درجه حرارت های زیر صفر که بالاتر از باشند حفظ می کند و در مقابل پدیده شکنندگی هیدروژن مقاوم است. مقاومت در مقابل اشاعه ترک نیز در فولاد هادفیلد بالا است و ترک های ایجاد شده در حین کار در اثر فرسایش لایه های سطحی از بین می روند. حد خستگی فولاد هادفیلد 278 است.

استحکام تسلیم و سختی به تغییر ضخامت حساس نیستند و تغییرات آنها بسیار کم است. سختی فولاد هادفیلد عملیات حرارتی شده در اغلب رده های آن حدود 288 است ولی به دلیل اینکه سختی این خانواده از فولادها با انجام کار مکانیکی در حین ماشینکاری یا به کارگیری در شرایط فرسایشی افزایش می یابد بنابراین سختی اولیه معیار مناسبی بر ارزشیابی فولاد هادفیلد نیست.

### تأثیر درجهء حرارت:

خواص عالی فولاد هادفیلد در محدوده 285 تا 48 درجهء سانتیگراد، این ماده را برای کلیه کاربردهایی که در معرض حرارت محیط قرار دارند، مناسب می سازد. این فولاد در شرایطی که عمل سایش همراه با گرما است، توصیه نمی گردد زیرا در محدوده بین

268-878 دارای ساختاری ناپایدار است. سایر ویژگیهای این فولاد در درجهء حرارت بالا عبارتند از:

در مقابل اکسیاسیون مقاوم نیست.

مقاومت آن در مقابل خزش در مقایسه با آلیاژهای بسیار کم است.

در درجه حرارتهای بالا دارای استحکام و چقرمگی لازم برای مقاومت در مقابل تنشهای جوشکاری نیست.

با توجه به کلیه ویژگیهای مذکور این فولاد برای استفاده در درجه حرارتهای بالا توصیه نمی گردد. انبساط حرارتی فولاد آستنیتی منگیزی نظیر مواد آستنیتی دیگر است و در طی حرارت دادن تغییر طول این فولادها 1.5 برابر فولادهای فریتی است و ضریب انبساط حرارتی خطی آن در درجه حرارت اتاق تقریباً 1.8 می باشد.

### **جوشکاری فولاد هادفیلد:**

در بسیاری از کاربردها فولاد هادفیلد نیاز به جوشکاری دارد و این عمل برای اتصال دو قطعهء هادفیلد یا فولاد سادهء کربنی به هادفیلد و یا برای تعمیر قطعات انجام می شود. به دلیل حساس بودن فولاد هادفیلد به حرارت، باید جوشکاری آن با دقت کافی صورت گیرد بهترین روش برای جوشکاری فولاد هادفیلد روش جوشکاری قوس الکتریکی است و برای جوشکاری این فولادها الکترودهای مناسب به صورت تجاری موجود هستند.

الکترودهای ارائه شده در جدول همگی دارای میزان کربن کمتری نسبت به فولادهای هادفیلد هستند، تا از رسوب کاربیدها در حین جوشکاری ممانعت به عمل آید. هر چند که



ترکیب شیمیایی الکترودهای به این منظور انتخاب شده است، ولی در هر حال باید روش جوشکاری به نحوی انتخاب گردد که از این پدیده جلوگیری شود. الکترودهای پر منگنز که حاوی مقادیر کمی عناصر آلیاژی هستند نیز در بازار موجودند ولی عموماً توصیه می‌گردد که از این الکترودها برای پر کردن فرسودگی‌ها استفاده شود، زیرا که این ترکیبات چقرمگی کمتری نسبت به الکترودهای پرآلیاژتر دارند.

در روند جوشکاری عناصر کربن، منگنز و سیلیسیم سوخته و میزان آنها کم میشود بنابراین برخی از تولیدکنندگان الکترودها با در نظر گرفتن میزان سوخت ترکیب شیمیایی الکتروود را تعیین می‌کنند. جوشکاری بدون توجه به مبانی علمی و عملی آن و استفاده از طول قوس بلند و .... باعث سوختن بیش از حد این عناصر می‌گردد و در نتیجه منطقهء جوش بسیار ضعیف و نامطلوب می‌شود.

فولادهای ساده کربنی در برخی موارد با استفاده از الکترودهای فولاد ضد زنگ آستنیتی به فولاد هادفیلد جوشکاری می‌شوند و چون ترکیب شیمیایی منطقهء جوش ترکیبی مخلوط از فلز پایه و الکتروود است، بنابراین خواص آن بسیار متفاوت با فلز پایه خواهد بود و بعلت سرد شدن در هوا ساختار منطقهء جوش ساختاری مارتنزیتی است و دارای استحکام بالا و انعطاف پذیری کم میباشد. مهمترین مسئله ای که در اینگونه جوشکاری اتفاق نمی‌افتد ایجاد ترک در مارتنزیت است.

**نکات مهم در جوشکاری فولاد هادفیلد:**

مهمترین و ابتدایی ترین مسئله در جوشکاری فولاد هادفیلد، حرارت دادن قطعه یا قطعات کار در حین جوشکاری یا قبل از آن است، که برای جلوگیری از تشکیل فاز کاربید باید در حداقل مقدار خود باشد؟ در هر حال ایجاد تعدادی فاز کاربید در منطقه جوش قابل قبول است و اغلب فلز منطقه جوش استحکام بالاتر و چقرمگی کمتری نسبت به فلز پایه دارد.

در حین بازسازی قطعات ریختگی باید مناطق فرسوده شده که احتمالاً کار سخت شده اند، برطرف و خالی شده و سپس جوشکاری شوند، این امر برای جلوگیری از ایجاد ترک توصیه می گردد.

انتقال حرارت کم و انبساط حرارتی زیاد فولاد آستنیتی - منگیزی در حین جوشکاری باعث شیب حرارتی تند و تنش های باقیمانده بیش از حد می گردد.

### قابلیت ماشینکاری

فولاد هادفیلد با وجود چقرمگی بسیار بالا، هنگام ماشینکاری در محل حرکت قلم های ماشینکاری به قدری سختکاری می شود که از نقطه نظر تجاری، آن را غیر قابل تراشکاری قلمداد می کنند. در هر حال این فولادها را می توان با به کارگیری تمهیدات مناسب ماشینکاری کرد. در رابطه با ماشینکاری این فولادها، توصیه می شود که موارد کلی زیر به کار بسته شود. ماشین باید صلب و در محل مناسب مستقر شده باشد، هر عاملی که باعث حرکت ماشین شود، مضر قلمداد می گردد.

ابزارها باید تیز باشند . ابزارهای کند، تولید کار سختی بیش از حد کرده و عمل ماشینکاری را سخت تر می کنند.

سرعت ماشینکاری باید کم و در حدود 9-12 متر بر دقیقه باشد، سرعت زیاد باعث ایجاد براده های داغ و سرخ رنگ شده و عمر ابزارها را کاهش می دهد.

برای ماشینکاری از فولادهای تند بر حاوی کبالت و سیمنتد کار باید می توان استفاده کرد که دومی ترجیه داده میشود. استفاده از روغن های حاوی گوگرد در ماشینکاری توصیه می گردد.

در صورت امکان سوراخ ها در ریخته گری با استفاده از ماهیچه تعبیه گردند و از ماشینکاری برای ایجاد سوراخ پرهیز شود.

### خانوادهء جدید قابل ماشینکاری:

خانوادهء 28 منگنز، 8.6 کربن، خانوادهء جدیدی است که برای افزایش قابلیت ماشینکاری ابداع شده است. برای دستیابی به قابلیت ماشینکاری مطلوب، استحکام تسلیم به دلخواه از کاهش داده می شود. در حالیکه استحکام کششی در این حالت بیش از 628 و

ازدیاد طول نسبی حدود 48 است سیکل عملیات حرارتی این فولاد عبارتست از:

آستنیته کردن در 1848 و سرد کردن سریع از این درجه حرارت در حمام آب.

خواص این فولاد در حالت ریختگی، مطابق جدول فوق پائین تر از حالت عملیات حرارتی شده است ولی به احتمال بسیار قوی می توان در برخی از کاربردها از آن استفاده کرد.

این فولاد را می توان سوراخ کاری، قلاویز، گرد تراشی و ماشینکاری نمود. در این خانواده می توان سوراخهایی با قطر 6.4 ایجاد و قلاویز نمود.

### فولاد های کم آلیاژ مقاوم به سایش:

با توجه به اینکه فولادهای منگیزی آستنیتی در مقابل سایش، مقاومت خوبی از خود نشان می دهند (بخصوص در سایش های کندگی) ولی استفاده از این فولادها در کلیه کاربردهای سایشی مناسب نمی باشد. همانطوریکه قبلا ذکر شد، کار سختی و میزان استحاله آستنیت به مارتنزیت در حین کار، از عوامل مهم و تعیین کننده در کاربرد موفقیت آمیز این نوع فولادها میباشد. در بعضی از کاربردها، استفاده از فولادهای کم آلیاژ، مقاومت به سایش بهتری را به همراه دارد. سهولت در تولید، قیمت تمام شده پائین تر و قابلیت ماشینکاری بهتر از جمله مزایای فولادهای کم آلیاژ نسبت به فولادهای منگیزی آستنیتی می باشد.

هدف اصلی از افزایش عناصر آلیاژی به فولادهای مقاوم در برابر سایش سختی پذیری و چقرمگی میباشد. عناصری که در این زمینه اغلب مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: منگرن، کرم، نیکل و مولیبدن. اصولا میزان کربن و ساختار زمینه از جمله پارامترهای تعیین کننده مقاومت به سایش می باشند.

افزایش کربن برای قطعات آنیل، نرمال و یا نرمال- تمپر شده در صورتیکه ساختار کاملاً پرلیتی باشد مقاومت در مقابل سایش را زیاد می کند. فولادهای کوئنچ - تمپر شده که

دارای ساختار مارتنزیت تمپر شده هستند، مقاومت در مقابل سایش بیشتری از خود نشان می‌دهند. وجود فریت برای مقاومت در مقابل سایش فولادها مضر است.

آستنیت باقیمانده نیز تأثیر نامطلوبی بر مقاومت در مقابل سایش فولادهای کم آلیاژ ریختگی دارد. قطعاتی که تحت سایش قرار می‌گیرند علاوه بر مقاومت در برابر سایش، می‌بایستی در مقابل تنشهای دینامیکی که نهایتاً منجر به شکست های ناگهانی میشود، نیز مقاومت کنند. قطعاتی که در معرض تنش های سنگین قرار می‌گیرند مشکل بزرگی را بوجود می‌آورند، به عبارت دیگر قطعه باید دو خاصیت متناقض را در کنار هم داشته باشد که عبارت است از مقاومت به سایش و چقرمگی. مقاومت در مقابل شکست های ناگهانی در این قطعات خاصیت پیچیده ای است که علاوه بر چقرمگی، به شکل هندسی قطعه و نحوه توزیع تنش های پسماند نیز بستگی دارد. چقرمگی به عوامل متعدد مکانیکی، فیزیکی و متالورژیکی بستگی دارد. کربن مهمترین عاملی است که تأثیر معکوس روی مقاومت به سایش و چقرمگی می‌گذارد. با افزایش میزان کربن مقاومت به سایش افزایش یافته ولی چقرمگی قطعه کاهش می‌یابد. انتخاب ترکیب شیمیایی با توجه به میزان کربن و عملیات حرارتی برای بهینه کردن مقاومت به سایش و چقرمگی از اهمیت خاصی برخوردار است. مارتنزیت و بعد از آن پرلیت و بعد از آن پرلیت ظریف از ساختارهای مناسب جهت مقاومت به سایش می‌باشند.