فهرست

مطالب **صفحه**

۱. مقدمه **۲**

۲. کشش مفتول **۳ـ۲۶**

۳. دوزه کشش **۲۷ـ۴۳**

۴. فولادشناسی **۴۴ـ۴۶**

. استانداردها (نام‌گذاری فولاد) **۴۷ـ ۵۵**

. فولاد ضدزنگ **۵۶ـ ۶۷**

. فولاد خوش‌تراش **۶۸ـ ۷۲**

.گریدهای مفتول‌های فنری **۷۳ـ ۷۶**

. گریدهای مختلف پیچ **۷۷ـ ۷۹**

. کربن معادل **۸۰ـ ۸۱**

۵. فرهنگ لغت صنعت کشش **۸۳ـ ۱۲۰**

مقدمه

صنعت کشش مفتول در ایران برخلاف رشد فیزیکی، هرگز رشد علمی و تئوریک منطقی نداشته و تمامی تجربیات با پشتوانه اندک علمی و یا حتی بدون آن، در سینه‌ها حبس شده است. نبود منابع علمی به زبان فارسی مزید برعلت است و از آن کماکان رنج می‌بریم.

حدود ده سال پیش بر آن شدیم که با سواد اندک، کتاب‌های روز این صنعت را تهیه و از لابه‌لای آن‌ها مطالبی درحد و اندازه‌های تجربیات خودمان استخراج کنیم و آن‌ها را ساده و کاربردی سازیم. در این راه باور مدیران شرکت ایروف که «با به اشتراک گذاشتن دانش و دانسته‌های علمی و فنی مهندسان صنعت فولاد همگان سود می‌برند» انگیزه مضاعفی ایجاد کرد.

مجموعه حاضر منتخبی است از جزوات آموزشی که برمبنای نیاز کادر مهندسی، پرسنل فنی و کارشناسان فروش شرکت ایروف تدوین شده و در کلاس‌های ادواری این شرکت نیز تدریس می‌گردد.

به امید این‌که برای تمامی دست‌اندرکاران این صنعت مفید واقع شود.

ضمناً از سرکار خانم‌ها حقیقی، نژادآفرین و جناب آقایان یوسف تیموری و داریوش آرائی به خاطر زحمات فراوان‌شان در تهیه این کتاب تشکر می‌نمایم.

مدیرکارخانه و مسؤول آموزش شرکت ایروف
اسماعیل مدرس ـ اسفند ۱۳۹۳

تاریخچـــه پیدایش آهن و ذوب

فلزات در طبیعت اغلب به صورت سنگ معدن یافت می‌شوند. اولین سنگ آهن حدود ۳۵۰۰ سال پیش کشف گردید که شروع عصر آهن را به وجود آورد.

علم شناخت فلزات که شامل جدا کردن آنها از سنگ‌های معدن و تهیـه آلیاژهـا و بیشـتر کـردن خواص آنها می‌باشد را متالورژی می‌نامند. بدون شک از بدو پیدایش آهن، فلزشناسان و هنرمندان آن عصر به خاصیت آلیاژ آهن و کربن و طرز آبدادن فولاد آشنا بوده‌انـد. شمشـیرهای برنـده آن زمان گویای این حقیقت است.

اولین ذوب فلز احتمالاً در یکی از آتشکده‌ها که تصادفاً نزدیک معدن فلزی بنا شـده بـود انجـام گرفته است.

در قدیم سنگ آهن در کوره‌های بوته‌ای کوچک ذوب و تصفیه می‌گردید و اولـین کـوره‌ای کـه توانست مقدار نسبتاً زیادی آهن را تولید نماید در سال ۱۳۰۰ میلادی (۷۶۸ شمسـی) در اسـپانیا ساخته شد. در سال ۱۳۲۳ میلادی (۷۹۱ شمسی) اولین کوره‌ای که شباهت به کـوره بلنـد فعلـی داشته در آلمان ساخته شده است که آهن آن برای ریخته‌گری مناسب بوده و این صنعت را در آن زمان توسعه داده است. همانگونه که در این تاریخچه مختصر به آن اشاره شد آهن در طبیعت بـه صورت سنگ آهن در معادن یافت می‌شود و امـروزه آن را در کارخانجـات ذوب آهـن توسـط کوره‌هایی به نام کوره بلند، ذوب و تصفیه می‌کنند و همچنین کارخانجات ذوبی نیز وجود دارنـد که خوراک آنها آهن‌آلات ضایعاتی(قراضه) می‌باشد که درکـوره‌هـای پـاتیلی ذوب مـی‌شـوند. حرارت لازم جهت عملیات ذوب در این پاتیل‌ها توسط الکترودهایی صورت می‌گیرد که بین آنها به‌وسیله جریان برق قوس الکتریکی ایجاد شده و در اثر حرارت حاصل شده بسیار بـالا (حـدود ۱۶۰۰درجه سانتیگراد) محتویات پاتیل تبدیل به مذاب می‌شوند. پس از تبـدیل سـنگ معـدن یـا

قراضه به مذاب، نمونه‌ای از آن توسط آزمایشگاه مستقر در کارخانه مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته و درصد عناصر تشکیل‌دهنده مذاب مشخص می‌گردد.

آهن خالص به دلیل اینکه نسبتاً نرم می‌باشد در مهندسی کمتر کاربرد دارد و آلیاژهای آهن هستند که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در زمان تشکیل مذاب براساس نیاز یا سفارش با افزودن مقادیر مشخصی از یک یا چند عنصر به آلیاژ مورد نظر می‌توان دست یافت.

کارخانجات بسیار مجهز ذوب دارای میکسر(مخلوط کن) مذاب هستندو نتیجتاً مذابی هموژن (یکنواخت) و بدون تجمع یا پراکندگی عناصر، تولید می‌کنند.

پس از تأیید درصد عناصر تشکیل‌دهنده مذاب نوبت به ریخته‌گری می‌رسد. مذاب را در بوته یا قالب‌های مخصوص می‌ریزند تا خنک شده و شکل قالب را به خود بگیرد. کاهش درجه حرارت از سرعت ارتعاشات ملکول فاز مذاب می‌کاهد تا اینکه در درجه حرارت معینی که نقطه انجماد نام دارد، ملکول یا اتم‌ها حالت نسبتاً مشخص و معینی نسبت به یکدیگر پیدا کرده و ثابت می‌مانند.

هر جسمی در هر حالت فیزیکی باشد از تعداد بیشماری اتم تشکیل شده است که جنس و اندازه آنها دلیل تمایز جسمی از جسم دیگر می‌باشد فلزات نیز از این قاعده مستثنی نیستند و قطعه کوچکی از فلز از میلیاردها اتم تشکیل یافته است. این اجسام وقتی از حالت مایع به حالت جامد در می‌آیند اتم‌های آنها ثابت شده و فاصله خود را از یکدیگر حفظ می‌کنند. هرگاه در این حالت اتم‌ها یا مولکول‌ها نسبت به یکدیگر به حالت دلخواه منجمد شده باشند و به صورت منظمی قرار نگرفته باشند، جسم جامد را بی‌شکل می‌نامند (مانند؛ شیشه که جسمی است بی‌شکل) در بیشتر اجسام اتم‌ها به صورت خاص و منظمی نسبت به یکدیگر منجمد می‌شوند که در این صورت آنها را متبلور یا کریستالی می‌گویند. تمام فلزات به جزء جیوه که به حالت مایع وجود دارد متبلورند. حالات منظم تبلور در فلزات مهم صنعتی و تجاری به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱ – شبکه کریستالی مکعبی با تمرکز داخلی (۹ اتمی) ←کریستالهای آهن آلفا(**B.C.C**)

۲ – شبکه کریستالی مکعبی با تمرکز سطحی(١٤ اتمی) . ←کریستالهای آهن گاما(**F.C.C**)

۳ – شبکه کریستالی منشوری با قاعده شش ضلعی (۱۷ اتمی) . (H.C.P)

*** کریستال‌های فلزات نوع اول ۹ و نوع دوم ١٤ و نوع سوم ۱۷ اتم را در خود جای داده‌اند.**

آلیــاژها

فلزات خالص اغلب بسیار نرم می‌باشند و در مهندسی زیاد به‌کار نمی‌روند به جز در مواردی که خاصیت هدایت الکتریکی و انتقال حرارت زیاد مورد احتیاج باشد. خواص فیزیکی یا مکانیکی مانند؛ سختی، حد مقاومت کشش و حد الاستیسیته که در فلزات خالص کم هستند را می‌توان با آلیاژ کردن دو یا چند فلز با فلز خالص بهبود بخشید. بنابراین در صنعت، آلیاژها اهمیت بسیاری دارند و باید خیلی بیشتر از فلزات خالص مورد مطالعه قرار بگیرند.

آهن خالص بیشتر به صورت آلیاژ با کربن و یا عناصر دیگر مورد استفاده قرار می گیرد.

برخی عناصر مهمی که با آهن آلیاژمی شوند عبارتند از:

***کر بن C**

***منگنز Mn**

***فسفر P**

***گوگرد S**

آلیاژ های آهن و کــربن

بدون شک آلیاژ آهن و کربن مهمترین آلیاژ مهندسی است و در صنایع ماشین‌سازی و ساختمان از هر فلز دیگری بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فـــــولاد

به آلیاژهای آهن وکربن که تا ۱/۷ درصد کربن دارند فـولاد می‌گویند که براساس میــزان کــربن موجود در آلیاژ آنها طبقه‌بندی می‌شوند و حداکثر میزان کربنی که در آلیــاژ هــای آهـــــن مــورد استفاده قرار میگیرد ٥درصد می‌باشد و بیشتر از آن مصرف صنعتی و مهندسی ندارد.

آلیاژهای آهن به شرح زیر طبقه‌بندی می‌گردند:

۱ـ فولاد بسیار نرم : حداکثر ۰/۱۵ ٪ کربن دارند.

۲ـ فولاد نرم: بین ۰/۱۵ ٪ تا ۰/۳۰ ٪ کربن دارند (فولادهای ساختمانی جزو این دسته هستند).

۳ـ فولاد های با کربن متوسط: بین ۰/۳ ٪ تا ۰/٦ ٪ کربن دارند.

٤ـ فولادهای پرکربن: بین ۰/٦ ٪ تا ۰/۹٪ کربن دارند.

۵ـ فولادهای ابزار: بین ۰/۹ ٪ تا ۱/٤ ٪ کربن دارند.

٦ـ چدن‌ها: هرگاه مقدار کربن در آهن از حدود ۲٪ بیشتر باشد چدن تشکیل می‌شود.

مفتـــول

پس از این‌که با آهن و آلیاژهای آن و چگونگی تولید شمش آشنایی مختصر پیدا کردیم بهتر است بحث را با مفتول فولادی که یکی از فرآورده‌های فولاد می‌باشد ادامه دهیم.

مفتول فولادی مصارف بسیار گسترده و روز افزونی دارد. از جمله می‌توان به مصارف ساختمانی و صنعتی آن اشاره کرد که تأکید ما بیشتر به مصارف صنعتی خواهد بود.

کارخانجات نورد جهت تولید مفتول، شمش مورد نیاز را در کوره‌های پیش‌گرم قرار داده و حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد گرم می‌کنند و سپس آن را به دستگاه‌های نورد هدایت می‌کنند. متناسب با ابعاد شمش و قطر مفتول مورد نیاز، شمش سرخ شده قبل از رسیدن به دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد از تعداد مشخصی غلطک نورد عبور کرده و سپس توسط کویلرهای مخصوص به صورت کلاف (وایرود) در می‌آید.

همانگونه که ریخته‌گری شمش و درستی درصد عناصر موجود در آلیاژها از اهمیت بالایی برخوردار است، نورد این شمش و تکنیک تبدیل آن به مفتول نیز برای کارخانجات مصرف‌کننده بعدی (صنایع کشش) اهمیت حیاتی دارد. یکی از این تکنیک‌ها، نحوه سرد شدن شمش در حال نورد و مفتول نورد شده نهایی می‌باشد. همانطور که در ابتدای این مطلب ذکر شد، شمش آماده نورد تا دمای حدود ۱۲۰۰درجه سانتیگراد پیش گرم می‌شود و سپس به دستگاه نورد سپرده می‌شود. روش صحیح سرد شدن این است که این دما در ایستگاه نورد اولیه می‌بایست حدود

۵۵درجه و در ایستگاه‌های بعدی حدود ۹۲ درجه و دوباره در ایستگاه نهایی حدود ۵۵ درجه از دمایش کاسته شود به طوری که درجه حرارتش در ایستگاه پایانی بین ۹۸۰ تا ۱۰۱۰درجه سانتیگراد باشد. چنانچه سرد شدن بیشتر از این میزان باشد محصول نهایی به ویژه اگر از فولادهای پرکربن باشد شکننده خواهد شد و سرعت سرد شدن خیلی کم هم باعث ایجاد پوسته بسیار ضخیمی از اکسید آهن بر روی محصول نهایی خواهد شد که برطرف کردن آن بسیار مشکل واز نظر اقتصادی هم این محصول مقرون به صرفه نمی‌باشد.

در پروسه خنک شدن شمش در حال تبدیل به مفتول، دمای حدود ۷۲۷ درجه سانتیگراد را دمای بحرانی می‌نامند. در این دما کربن در آهن وضعیتی پیدا می‌کند (تشکیل صفحات پرلیتی) که آهن را نسبتاً سخت کرده و کشش کمی بر روی آن می‌توان انجام داد. حال اگر بتوان دما را از این ناحیه به حدود ٦٤٩ درجه سانتیگراد تقلیل داد صفحات پرلیتی بسیار نازک‌تر تشکیل می‌گردد و درنتیجه میلگرد تولیدی قابلیت کشش بیشتری خواهد داشت. بهترین کیفیت مفتول تولیدی در این است که که دمای مذکور با سرعت زیادی به حدود ۵۳۸ درجه برسد.

در مراحل تولید شمش و نورد آن مشکلات و معایبی ممکن است بروز کند که در نتیجه آن مفتول تولید شده (وایرود) دارای نواقصی باشد. در اینجا به برخی از این عیوب به صورت مختصر اشاره‌ای خواهیم داشت.

بعضاً در کارخانجات کشش مفتول مشاهده می‌شود که مفتول کشیده شده دارای درز طولی می‌باشد و با خم کردن مفتول این درز باز شده و کاملاً مشهود می‌گردد. این عیب برمی‌گردد به کارخانه ذوب، یعنی هنگام ریخته‌گری و خنک‌کردن شمش مشکلی وجود داشته که باعث ایجاد شکاف یا درز کوچکی در شمش گردیده و عیب از چشم آزمایشگاه کنترل کیفیت کارخانه نیز به دور مانده است. این درز در کارخانجات نورد و کشش از بین نمی‌رود بلکه نازک‌تر شده و در طول محصول ادامه می‌یابد. در این دو کارخانه هر جا این عیب مشاهده گردید، می‌بایست ادامه کار متوقف شود، زیرا اگر این شمش به مفتولی به قطر یک میلیمتر هم تبدیل شود این درز وجود خواهد داشت واز بین نمی‌رود.

یکی دیگر از عیوب مفتول که هنگام ریخته‌گری شمش ایجاد می‌شود و معظلی برای کارخانجات کشش ایجاد می‌کند وجود حفره یا ناخالصی و ذرات پراکنده در شمش می‌باشد .

حفره‌ها در شمش به اندازه‌های مختلف از خیلی کوچک تا خیلی بزرگ وجود دارند. سوراخ‌های ته سنجاقی کوچک معمولاً در نزدیکی سطح قرار داشته و از محبوس شدن گازهای منواکسیدکربن یا هیدروژن به وجود می‌آیند. حفره‌های بزرگتر در تمام حجم شمش وجود دارند دلیل اصلی وجود این حفره‌ها به شرح زیر است:

وقتی فولاد به صورت مذاب باشد قابلیت حل کردن مقداری از گازها را دارد ولی در هنگام انجماد این قابلیت را به مقدار زیادی از دست می‌دهد. از این رو گازهای حل شده که به علت خمیری بودن انجماد نمی‌توانند خارج شوند محبوس شده و حفره هایی را به وجود می‌آورند. این گازها عبارتند از: ازت، اکسیژن و هیدروژن که علاوه‌بر عیب مذکور (ایجاد حفره) باعث شکنندگی و کم شدن قابلیت انعطاف فولاد نیز می‌شوند.

بهترین روش رفع این مشکل ریخته‌گری شمش در خلاء است. در کارخانجات مدرن برای تولید شمش‌های مرغوب این عمل را انجام می‌دهند، زیرا قابلیت انحلال گازها در فلزات مذاب با جذر فشار محیط متناسب می‌باشد و از این رو هر گاه فشار کم باشد قابلیت انحلال کاهش می‌یابد.

یکی دیگر از روش‌های از بین بردن حفره‌های اکسیژن یا حباب‌های موجود در شمش، افزودن آلومینیوم یا سیلیسیم و یا منگنز به مقدار کافی به مذاب می‌باشد این عناصر که میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن دارند با آن ترکیب شده و مانع اکسید شدن آهن می‌شود و خود به صورت اکسید به سرباره مذاب می‌روند و از مذاب جداسازی می‌گردند. با این روش شمش تولید شده را آلومینیوم‌کیلد یا سیلیسیم‌کیلد می‌گویند که برای تولید مفتول‌های پیچ و پرچ بسیار مناسب بوده و خاصیت شکل‌پذیری و چکش‌خواری زیادی خواهند داشت. اصطلاحاً این مفتول‌ها را **C.H.Q** (**cold heading quality**) می‌نامند. (کیفیت مخصوص کله‌زنی سرد را دارند)

گاهی اوقات در هنگام کشش مفتول به برش یا شکست مفتول مواجه می‌شویم و با مشاهده مقطع شکسته شده ذرات ناخالصی با چشم غیرمسلح نیز قابل رویت است. وجود ذرات ناخالص در مذاب نیز یکی دیگر از عیوب شمش می‌باشد. ذرات کوچک و میکروسکوپی ناخالصی که

می‌تواند شامل سولفور منگنز(Mns در متالوگرافی بـه رنـگ خاکسـتری)، سـولفورآهن(Fes در متالوگرافی به رنگ قهوه‌ای) و یا ذرات آجر نسوز که از دیواره کوره‌ها به داخـل مـذاب ریختـه شده است تشکیل گردند.

معمولاً این ناخالصی‌ها به بالای فلز مذاب می‌روند ولی در موقع خمیری شدن و انجماد در تمـام حجم فلز محبوس شده و یافت مـی‌شـوند. ایـن ذرات ناخالصـی‌هـا ممکـن اسـت مقـداری از سیلیکات‌ها و اکسیدها باشند. این عیب فقط باید در هنگام تصفیه فولاد برطـرف شـود و بعـد از انجماد هیچ علاجی ندارد.

فولادهایی که دارای مقدار زیادی از این ذرات باشند فـولادهای کثیف نامیده می‌شوند و مقاومت و خواص مکانیکی این نوع از فولادها کم خواهد شد.

درجه ریخته‌گری شمش حائز اهمیت بسیاری است زیرا، اگر درجه حرارت خیلی بالاتر از درجـه حرارت لازم باشد، شمش به دست آمده دارای ترک خوردگی خواهـد بـود و اگـر ایـن درجـه حرارت کم باشد شمش دارای عیوب در سطح خواهد شد.

حرارت ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد برای ریخته‌گری شمش با ۱۰ تا ۱۵درجه اخـتلاف حـرارت قابـل قبول می‌باشد.

مطالب ذکر شده تفاوت بین مفتول‌های خوب و بد که کیفیت آنها فقط مربـوط بـه کارخانجـات ذوب و نورد می‌باشد را نشان می‌دهد.

تفاوت وایرودهای تولیدی در کارخانجات مختلف ذوب و نورد در سه چیز خلاصه می‌شود:

۱ـ درصد عناصر تشکیل دهنده شمش(آنالیز شیمیایی).

۲ـ نحوه ریخته‌گری شمش.

۳ـ نحوه تبدیل شمش به مفتول که عمدتاً به نحوه خنک شدن آن بستگی دارد.

کشش مفتول

یک شاخه مهم از فرم‌دهی سرد فلزات می‌باشد.

کارخانجات کشش مفتول از صنایع زیردستی کارخانجات ذوب و نـورد و خـود از صـنایع بـالا دستی بسیاری از صنایع کوچک‌تر محسوب می‌شوند. به عبـارتی کشـش مفتـول یـک عملیـات

واسطه‌ای می‌باشد، چرا که سایز تولیدات کارخانجات ذوب و نورد بسیار محدود و انگشت شمار هستند ولی نیاز صنایع کوچک به مفتول با قطرهای مختلف بسیار زیاد است.

عملیات کشش هیچگونه تغییری در درصد عناصر شیمیایی آلیاژ مفتول ایجاد نمی‌کند و فقط خواص مکانیکی یا فیزیکی از قبیل؛ سختی، حد مقاومت کشش، حد الاستیسیته و همچنین کیفیت سطح را تغییر می‌دهد.

به عبارت دیگر؛ کشش مفتول وظیفه تغییر شکل یا کاهش سطح مقطع به ازاء افزایش طول را برعهده دارد.

این کار در اثر عبور (کشش) مفتول با قطر بزرگ‌تر از مجرایی (دوزه) با قطر موردنظر کوچک‌تر در مجاورت یک روان‌ساز (پودر یا روغن کشش) صورت می‌گیرد.

در این بخش برخی از اصطلاحات، محاسبات، عملیات و تعاریف این صنعت را تحت عناوین زیر مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

- کاهش سطح مقطع
- افزایش طول
- تنش کششی
- تغییر طول نسبی در کشش
- حد الاستیک

کاهش سطح مقطع

وظیفه اصلی عملیات کشش، کاهش سطح مقطع مفتول می‌باشد و این کمیت را معمولاً به صورت درصدی از سطح مقطع اولیه تعریف می‌کنند.

مثال: اگر مفتول قطر ۱۰ میلیمتر تبدیل به قطر ۸ میلیمتر گردد، درصد کاهش سطح مقطع به روش زیر محاسبه می‌گردد.

R (reduction) = درصد کاهش سطح مقطع

A1 = سطح مقطع مفتول اولیه

A2 = سطح مقطع مفتول ثانویه

شعاع مفتول ۱۰ ۱۰ ÷ ۲ = ۵

سطح مقطع مفتول ۱۰میلیمتر **A1** = ۵×۵ × ۳/۱٤ = ۷۸/۵ mm^2

شعاع مفتول ۸ ۸ ÷ ۲ = ۴

سطح مقطع مفتول ۸ میلیمتر **A2** = ٤×٤ × ۳/۱٤ = ۵۰/۲٤ mm^2

$$\mathbf{R} = \frac{\boldsymbol{A1-A2}}{\boldsymbol{A1}} \times \mathbf{100} = \%\mathbf{36}$$

یعنی کاهش سطح مقطع صورت گرفته ۳٦٪ بوده است.

این کمیت در طراحی دستگاه‌ها و دوزه‌های کشش بسیار مهم بوده و تا حدودی از روی آن می‌توان به کیفیت مفتول کششی نیز پی برد.

فرمول محاسبه درصد کاهش سطح مقطع مبتنی بر قطر به شکل زیر ساده‌تر گردیده است:

$$\boldsymbol{R} = [\mathbf{1} - \left(\frac{\boldsymbol{D_2}}{\boldsymbol{D_1}}\right)^{\mathbf{2}}] \times \mathbf{100}$$

که در آن:

D1 ـ قطر مفتول اولیه

D2 ـ قطر مفتول خروجی می‌باشد.

افزایش طول

در اثر کاهش سطح مقطع در عملیات کشش با افزایش طول مواجه می‌شویم.

این کمیت نیز به صورت درصد افزایش طول (Elongation) طبق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\mathbf{E} = \frac{A1 - A2}{A2} \times 100$$

E (elongation)= درصد افزایش طول

A1 = سطح مقطع مفتول اولیه

A2 = سطح مقطع مفتول ثانویه

فرمول بالا برحسب سطح مقطع می‌باشد. شکل دیگر فرمول بالا که مبتنی بر قطر می‌باشد به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$E = [\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 - 1] \times 100$$

این کمیت نیز در طراحی دستگاه‌های چند طبله متوالی حائز اهمیت می‌باشد.

مثال :

اگر مفتول قطر ٦/٥ میلیمتر تبدیل به قطر ١/٥ میلیمتر گردد، درصد افزایش طول به روش زیر محاسبه می‌گردد.

روش دیگر محاسبه سطح مقطع **سطح مقطع = قطر × قطر × ٠/٧٨٥**

سطح مقطع مفتول ٦/٥میلیمتر $A1 = ٠/٧٨٥ \times ٦/٥ \times ٦/٥ = ٣٣/١٨ \ mm^2$

سطح مقطع مفتول ١/٥میلیمتر $A2 = ٠/٧٨٥ \times ١/٥ \times ١/٥ = ١/٧٦ \ mm^2$

$$\mathbf{E} = \frac{A1 - A2}{A2} \times 100$$

$$\mathbf{E} = \frac{33/18 - 1/76}{1/76} \times 100 = \%1785$$ درصد ازدیاد طول

یا از روش قطر:

$$E = \left[\left(\frac{6/5}{1/5}\right)^2 - 1\right] \times 100 = \%1777$$ درصدازدیاد طول

اختلاف جزئی در جواب دو راه حل مربوط به عدد پی در روش اول می‌باشد و روش محاسبه دوم که مبتنی بر قطر می‌باشد قطعاً جواب صحیح‌تری را می‌دهد.

جدول زیر رابطه بین درصد کاهش سطح مقطع، درصد ازدیاد طول و نسبت قطر ثانویه به اولیه را نشان می‌دهد.

کاهش سطح مقطع ٪	ازدیاد طول ٪	نسبت قطر ها
$\frac{A1-A2}{A1}\times 100$	$\frac{A1-A2}{A2}\times 100$	$\frac{d}{D}$
10	11	0.95
20	25	0.89
30	43	0.84
40	66	0.77
50	100	0.74
60	150	0.63
70	233	0.55
75	300	0.5
80	400	0.45
85	566	0.39
90	900	0.32
95	1900	0.22
98	4900	0.14

برای مقایسه نرمی و سختی دو مفتول با یکدیگر، می‌توان از کمیت درصد افزایش طول نیز بهره برد. به این معنا که در آزمون کشش، مفتولی که درصد ازدیاد طول آن تا حد گسیختگی بیشتر باشد قطعاً نرم‌تر و شکل‌پذیرتر می‌باشد.

تنش کششی

هرگاه جسمی تحت اثر بار خارجی که بخواهد باعث تغییر شکل آن شود، قرار گیرد در این حالت نیروهای داخلی وارد عمل شده و در مقابله با بار خارجی قرار می‌گیرند. هنگامی که این نیروهای مقاوم وارد عمل می‌شوند گفته می‌شود که جسم تحت تنش قرار گرفته است. تنش کششی موقعی به وجود می‌آید که به جسم بار یا نیروی کششی وارد شود. معمولاً بار یا نیروی کششی وارد به جسم تمایل دارد که طول جسم را در امتداد بار یا نیرو زیاد کند.

شدت نیروهای مقاوم داخلی، تنش نام داشته و از تقسیم بار یا نیروی خارجی اعمال شده بر سطح مقطعی که در مقابل بار یا نیرو مقاومت نشان می دهد، به دست می‌آید.

بنابر این اگر :

T= شدت نیروهای مقاوم داخلی(تنش)

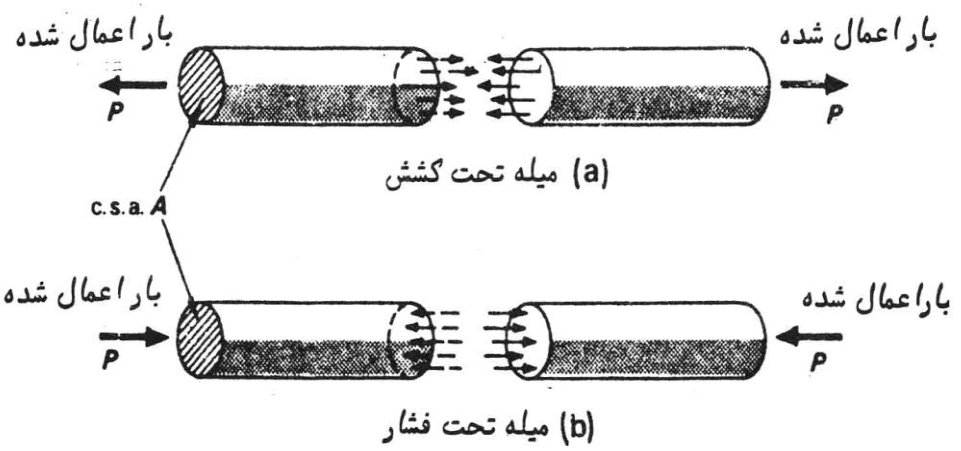
P= نیرو یا بار وارد شده

A= سطح مقطع جسم

آنگاه خواهیم داشت:

$$T = \frac{P}{A}$$

شکل زیر میله‌ای را نشان می‌دهد که تحت اثر نیروی کششی و یا فشاری قرار گرفته و در آن تنش کششی یا فشاری حاصل شده است.

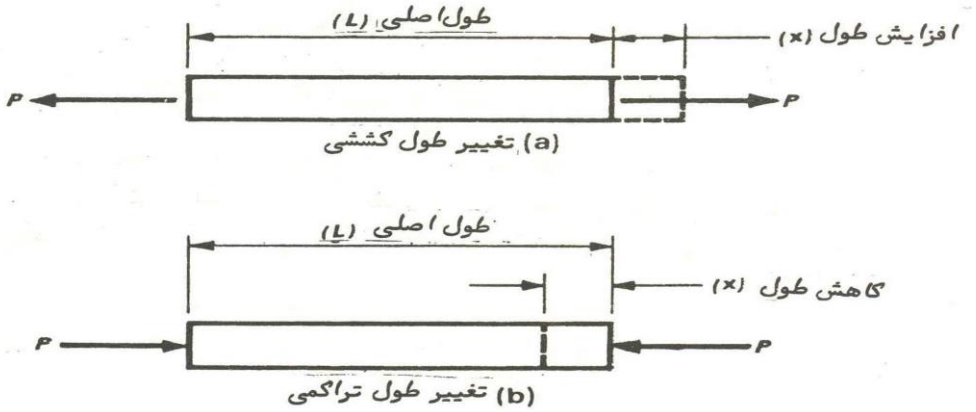


تغییر طول نسبی در کشش

وقتی جسمی در معرض تنش قرار می‌گیرد، در آن تغییر شکل به وجود می‌آید. به عبارت دیگر در شکل و اندازه جسم تحت اثر تنش، تغییر حاصل می‌شود. این تغییر شکل که در اثر تنش به وجود می‌آید، تغییر طول نام دارد.

تنش کششی در یک جسم باعث تغییر طول کششی شده و طول آن را زیاد می‌کند. به همین ترتیب تنش فشاری در یک جسم باعث تغییر طول فشاری شده و طول آن را کم می‌کند. شکل

زیر را ملاحظه نمایید .



اگر:

e = تغییر طول نسبی کششی یا فشاری

L = طول اصلی

X = افزایش یا کاهش طول

آنگاه خواهیم داشت:

$$e = \frac{x}{l}$$

تغییر طول نسبی ایجاد شده در یک جسم از تقسیم تغییر طول به‌وجود آمده بر طول اصلی آن به دست می‌آید و به وسیله **e** نشان داده می‌شود.

حد الاستیک

هرگاه جسمی تحت اثر تنش کششی طولش اضافه شود و در اثر برداشتن نیرو به حالت اولیه برگردد، می‌گویند تنش درحد الاستیک یا تناسب می‌باشد . نهایت باری که در آن الاستیسیته اتفاق

می‌افتد را حد الاستیک می‌نامند. بنابراین اگر شدت بار یا نیروی وارد شده از حد الاستیک تجاوز کند، با برداشتن باری که ایجاد تغییر طول می‌کند، در جسم تغییر شکل یا تغییر فرم دائمی به وجود می‌آید و دیگر جسم نمی‌تواند به اندازه اصلی خود برگردد. این وضعیت را حالت پلاستیک (یعنی تغییر طول دائمی داده است) می‌گویند.

رابطه بین تنش و تغییر طول نسبی (مدول الاستیسیته)

رابطه بسیار مهمی که تنش و تغییر طول نسبی یک جسم را تا زمانی که در حد تناسب خود قرار دارند، مرتبط می‌کند به قانون هوک معروف بوده و به صورت زیر بیان می‌شود:

«در حد تناسب تغییر طول نسبی ایجاد شده در جسم مستقیماً متناسب با تنش وارد شده بر آن است.»

در نتیجه از قانون هوک چنین بر می‌آید:

مقدار ثابت× تنش= تغییر طول نسبی

یعنی هر قدر تنش وارد شده بر جسم زیادتر شود، تغییر طول نسبی بیشتری در جسم رخ خواهد داد.

در نتیجه : $\frac{\text{تنش}}{\text{تغییر طول نسبی}} = \text{ثابت} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = \frac{T}{e}$

E= مدول الاستیسیته

T= تنش

E= تغییر طول نسبی

این مقدار ثابت به نام مدول الاستیسیته یا مدول یانگ معروف بوده و با حرف E نشان داده می‌شود و مقدار آن بستگی به جنس فلزی دارد که تحت کشش یا یا فشار قرار می‌گیرد.

در نتیجه:

فلزاتی که مدول الاستیسیته (مدول یانگ) آنها بیشتر باشد سخت‌تر بوده و مقاومت بیشتری دارند.

جدول زیر نشان‌دهنده مقادیر تقریبی مدول یانگ E برای برخی فلزات می‌باشد که از روی این مقادیر می‌توان میزان سختی یا نرمی آنها را مقایسه نمود. این مقادیر ممکن است با عملیات حرارتی که بر روی فلز انجام می‌گیرد و یا آلیاژی کردن آنها تغییر کند.

فلـــــــــــز	مدل یانگ E و GN/m^2
فولاد نرم چدن مس فسفر- برنز آلومینیوم	200 110 95 85 70

مقاومت کششی UTS(tensile strength)

ماکزیمم تنش کششی که جسم قبل از گسیخته شدن می‌تواند تحمل کنـد و مقـدار آن از تقسـیم ماکزیمم بار وارد شده در حین آزمایش کشش بر سطح مقطع اصلی نمونه تحت آزمایش به‌دسـت می‌آید را مقاومت کششی می‌گویند.

مقاومت کششی از مهمترین خواص مفتول در طراحی قطعات می‌باشد .

مقـاومت تسلیـم (yield strength)

ماکزیمم تنشی که جسم قبل از تغییر طول دائمی می‌تواند تحمل کند. از آن نقطه بـه بعـد تغییـر شکل دائمی(پلاستیک) در جسم به وجود می‌آید که اصطلاحاً می‌گویند جسم در این نقطه تسلیم شده است و صفحات اتمی روی یکدیگر لغزیده و تغییر مکان می‌دهند.

عملیات کشش

بعداز عملیات زنگ‌زدایی و پوسته‌گیری، مفتول پس از عبور از پودر کشش و دوزه وارد دسـتگاه کشش می‌شود و براساس نیاز یا کیفیت مفتول یا نوع دستگاه یک یا چند کشش متوالی بر روی آن صورت می‌گیرد. در اینجا تنش‌های گوناگون و زیادی بر مفتول اعمال شده و باعث کاهش سـطح مقطع آن می‌گردد .

همانگونه که قبلاً اشاره شد، هرچه کاهش سطح مقطع بیشتری در مفتول ایجاد شود به معنی اعمال تنش بیشتری بر مفتول می‌باشد و به دلیل همین تنش‌ها است که مفتول کشیده شده از مفتول خام (وایرود) اولیه خود سفت‌تر و چقرتر(غیر منعطف‌تر) می‌باشد. (**work hardening**)

اصولاً کار کشش را مانند نوردکاری، چکش‌کاری و ... کارسرد بر روی فلز می‌نامند و کارسرد باعث سخت شدن فلز و برهم خوردن آرایش اتمی آن می‌شود و این علت اصلی سفت شدن مفتول در اثر کشش می‌باشد.

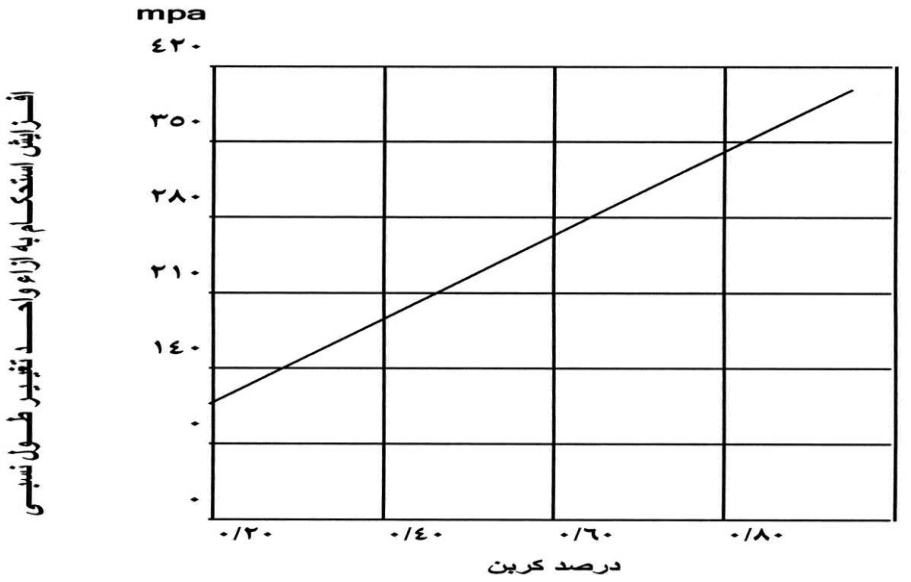
اصولاً این سفت شدن در اثر کشش به سه عامل مرتبط:

۱ ـ درصد عناصر شیمیایی موجود در مفتول به خصوص کربن.

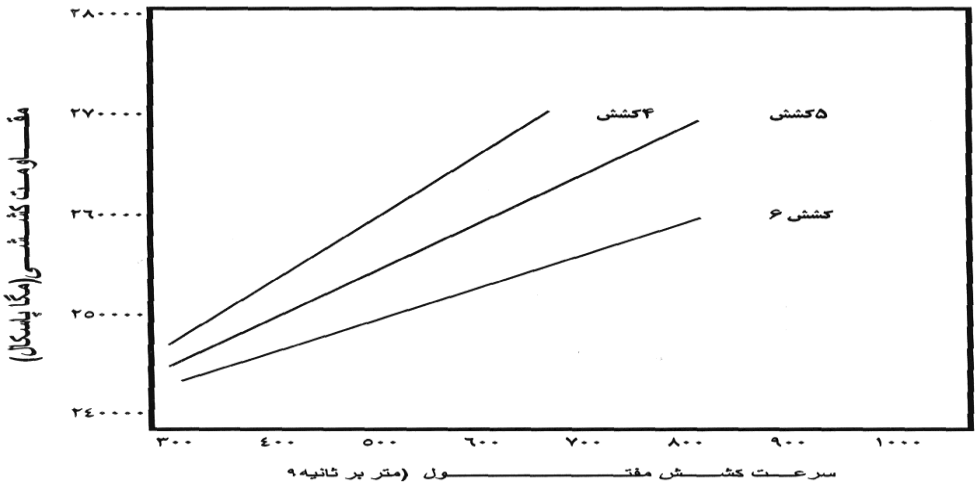
۲ ـ سرعت کشش.

۳ ـ تعداد مراحل کشش.

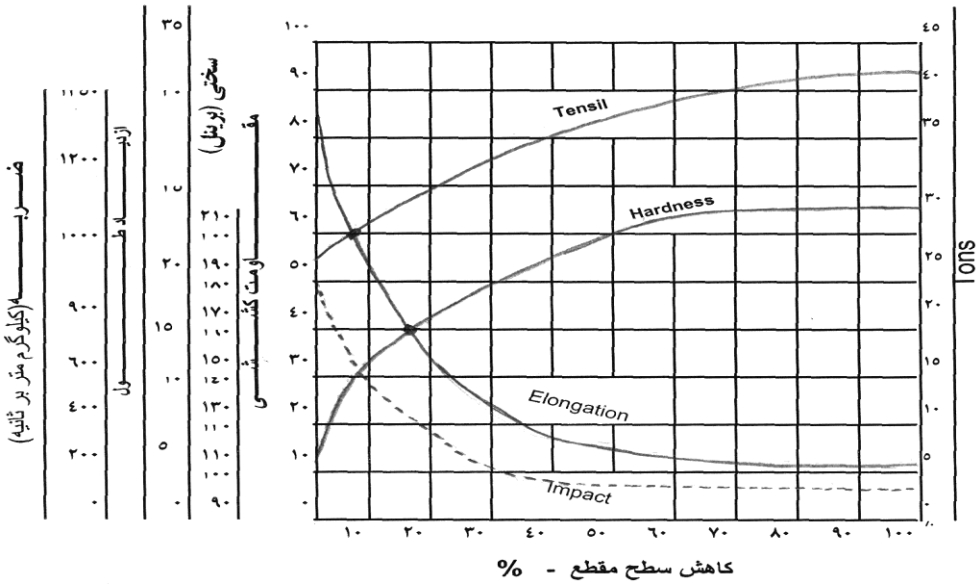
دیاگرام زیر نشان‌دهنده تأثیر میزان کربن بر استحکام مفتول در اثر کشش می‌باشد.



همچنین دیاگرام زیر نشان دهنده تأثیر سرعت و میزان کشش بر مقاومت کششی یک مفتول با ۰/۸ کربن می‌باشد.



در ابتدای بحث کشش مفتول یادآور شدیم که اصولاً کشش مفتول تأثیراتی بر خواص فیزیکی خواهد داشت. براساس منحنی‌های زیر تأثیرات کارسرد بر خواص مکانیکی فولاد معمولی نشان داده خواهد شد.



براساس این منحنی‌ها بر اثر افزایش درصد کاهش سطح مقطع کل در فولاد معمولی مقاومت کششی و سختی آن افزایش می‌یابد و در مقابل میزان ازدیاد طول و ضربه‌پذیری فولاد کاهش

خواهد یافت. توجه داشته باشید که محور افقی نمودار بالا کل کاهش سطح مقطع صورت گرفته بر روی مفتول را نسبت‌به سطح مقطع اولیه نشان می‌دهد. همچنین توجه داشته باشید که مثلاً دو مرحله کشش با ۲۰٪ کاهش سطح مقطع کل کاهش٤٠ درصدی را به‌وجود نمی‌آورد، بلکه کل کاهش سطح مقطع نسبت‌به مقطع اولیه ۳٦ درصد خواهد شد.

این مقادیر یعنی رابطه درصد کاهش سطح مقطع هر کشش با تعداد دفعات کشش و در نتیجه کل کاهش سطح مقطع حاصل شده در جدول زیر آمده است.

%	2	3	4	5	6	7	%
10	19	27	35	41	47	52	10
11	21	30	37	45	51	56	11
12	23	32	40	48	54	59	12
13	25	34	43	50	57	62	13
14	27	37	46	54	60	65	14
15	28	39	48	55	62	68	15
16	30	41	50	58	65	73	16
17	31	43	53	61	68	74	17
18	33	45	55	63	70	75	18
19	35	47	57	65	72	77	19
20	36	49	59	67	74	79	20
21	38	51	61	69	76	81	21
22	39	52	63	71	77	82	22
23	41	54	65	73	79	84	23
24	42	56	66	74	80	85	24
25	44	58	68	76	82	86.5	25
26	45	60	70	78	84	88	26
27	47	61	71	79	85	89	27
28	48	63	73	80	86	90	28
29	48	64	74	81	87	91	29
30	49	65	75	82	88	91.5	30
31	51	66	76	83	89	92.3	31
32	53	68	77	85	90	93.1	32
33	54	70	79	86	90.5	93.6	33

34	56	71	80	87	91.5	94.3	34
35	58	72	82	88	92.0	94.7	35
36	59	74	83	89	93.0	65.5	36
37	60	75	84	90	93.5	95.8	37
38	61	76	85	91	94.5	96.5	38
39	63	77	86	92	95.0	97.0	39
40	64	78	87	92	95.2	97.1	40

عملیات متداول در کشش مفتول

زنگ زدایی

سطح مفتول در حال شکل‌گیری در کارخانجات نورد به دلیل داشتن حرارت بسیار زیاد با اکسیژن موجود در هوا ترکیب شده و در جریان سرد شدن یک لایه اکسید آهن بر روی آن به‌وجود می‌آید (در دمای بالا میل ترکیبی آهن با اکسیژن باعث تشکیل اکسید آهن می‌شود)، این لایه بسیار سخت و درعین حال شکننده می‌باشد و متناسب با شرایط انبار و حمل مفتول به کارخانجات کشش ممکن است این مواد اولیه دچار زنگ زدگی نیز گردند.

پس:

اولین مرحله در کارخانجات کشش مفتول، زدودن این اکسیدها و زنگ‌ها از روی مفتول (زنگ‌زدایی) می‌باشد. زیرا به دلیل سختی زیاد، چنانچه این اکسیدها به قالب کشش برسند، فوراً آن را از بین خواهند برد.

روش‌های مختلف زنگ‌زدایی

زنگ‌زدایی درکارخانجات مختلف و براساس سطح مورد توقع محصول کشیده شده به چند روش انجام می‌شود که عبارتند از:

۱ ـ زنگ‌زدایی مکانیکی

۲ ـ اسیدشویی

۳ ـ زنگ‌زدایی مکانیکی همزمان با برس سیمی

٤ ـ شات بلاست (پرتاب ساچمه)

در موارد بسیار، ممکن است چند روش همزمان به کار گرفته شود.

۱ ـ زنگ‌زدایی مکانیکی

در این روش به‌وسیله عبور دادن مفتول از بین چندین قرقره که به صورت زیگزاگ قرار گرفته‌اند، پوسته مفتول که بسیار سخت و شکننده می‌باشد از سطح مفتول جدا شده و می‌ریزد. به این مجموعه دستگاه زنگ‌گیر نیز می‌گویند.

۲ ـ اسیدشویی (زنگ‌گیری شیمیایی)

در مواردی از قبیل زیاد بودن زنگ سطح مفتول و یا مجاز نبودن استفاده از زنگ‌گیری مکانیکی، مثلاً برای مفتول‌های پرکربن(**High carbon**) از روش اسیدشویی (**Pickling**) استفاده می‌شود.

اسیدشویی چگونه پوسته (اکسید آهن) مفتول را برمی‌دارد؟

H_2SO_4 اسید + Fe → $FeSO_4$ سولفات آهن + H_2 ↑ گاز هیدروژن

ترک‌های بسیار ریزی روی اکسیدآهن وجود دارد که اسید با نفوذ از طریق این ترک‌ها به پایه آهن رسیده و شروع به ترکیب شدن با آهن می‌نماید، پس از ترکیب اسید و آهن طبق فرمول بالا، هیدروژن آزاد می‌شود که این هیدروژن به صورت گاز یک انفجار خفیفی را ایجاد می‌کند که باعث جدا شدن پوسته از سطح مفتول می‌گردد.

عملیات روکش

در برخی از کارخانجات کشش علاوه‌برکشش ساده بر روی مفتول، سطح آنها را نیز با فلز دیگری پوشش می‌دهند. رایج‌ترین آنها عبارتند از:

۱ ـ روکش مسوار

این عملیات که قبل از آخرین کشش بر روی مفتول و به صورت پیوسته صورت می‌گیرد عمدتاً به سفارش صنایع زیر دستی از قبیل لوازم خانگی صورت می‌گیرد. زیرا مفتولی که سطح آن توسط مس روکش می‌شود:

الف ـ بسیار تمیز و براق و عاری از هرگونه چربی و مواد روانساز کشش می‌باشد.

ب ـ زیر کار مناسبی برای آب کرم کاری می‌باشد.

ج ـ رسانای خوبی برای جریان الکتریسیته است. جاهایی که درحد وسیع جوشکاری بر روی مفتول انجام می‌دهند، چون مسوار عاری از هرگونه چربی و... است از ایجاد دود زیاد ناشی از جوشکاری و سوختن چربی سطح مفتول جلوگیری می‌کند.

روکش این نوع از مفتول‌ها درحد چند میکرون بوده و در معرض رطوبت بسیار مستعد زنگ‌زدگی می‌باشند.

۲ ـ روکش گالوانیزه

این روکش برای مفتول‌هایی صورت می‌گیرد که در هوای آزاد یا مرطوب مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا از زنگ‌زدگی مفتول جلوگیری می‌کند. این روکش نیز به صورت پیوسته و با دو روش گرم و الکترو گالوانیزه با نشاندن یک لایه روی بر روی مفتول انجام می‌شود.

۳ ـ روکش فسفات روی

این روکش به صورت غوطه‌وری بر روی مفتول انجام می‌شود و هدف آن ایجاد یک لایه بسیار نرم و صیقلی بر روی مفتول می‌باشد. چنین لایه‌ای برای صنایع پیچ و پرچ و سایر موارد کوبشی بسیار ایده‌آل است، زیرا از برخورد مستقیم سنبه دستگاه کله‌زنی با آهن جلوگیری کرده و خروج قطعه کار از قالب دستگاه را نیز تسهیل می‌کند و به‌طور کل باعث افزایش طول عمر قالب ابزار این صنایع می‌شود.

آنیل کاری (Annealing)

نظم دادن به شبکه کریستالی که با عملیات کشش تغییر یافته است.

الف ـ آنیل‌کردن برای کم‌کردن (نرم‌کردن) سختی و یا از بین بردن کامل اثر سخت‌کردن و برطرف‌کردن تنش‌های داخلی و همچنین نرم‌کردن فلزاتی که در اثر کار سرد، سخت شده‌اند به‌کار می‌رود.

ب ـ آنیل‌کردن برای اصلاح و مرتب‌کردن کریستال‌های فلزات و بالا بردن خاصیت ماشین‌کاری و ضربه‌خواری و قابلیت انعطاف نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آنیل‌کردن عکس عمل سخت‌کاری می‌باشد به این معنی که فلز را تا درجه حرارت مناسب گرم کرده و پس از زمان ماندگاری کافی در آن درجه حرارت به آهستگی و با سرعت کم خنک می‌نمایند. به این ترتیب کریستال‌ها که کشیده شده و تغییر شکل داده‌اند، دوباره ایجاد می‌شوند و تبلور مجدد انجام می‌گیرد.

خنک کردن با سرعت حدود ۵۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد در ساعت صورت می‌گیرد تا بالاخره دمای کوره به حدود ۳۰۰ درجه سانتیگراد برسد و بتوان کوره را تخلیه نمود. ناگفته نماند که این دماها و زمان‌ها کاملاً تقریبی بوده و این عملیات یک کار نسبتاً تجربی می‌باشد.

عیوب در آنیل

یک عیب بسیار اساسی و مهم که ممکن است بر اثر آنیل کردن مفتول در کوره های معمولی ایجاد می‌شود اکسید شدن و سوختن کربن فولاد می‌باشد که اصطلاحاً آن را دی‌کربوره شدن (از دست دادن کربن) می‌گویند.

آهن میل ترکیبی زیادی با اکسیژن دارد و این میل ترکیبی با بالا رفتن درجه حرارت به سرعت افزایش می‌یابد و از این‌رو در عملیات آنیل کردن ممکن است تا چند دهم میلیمتر از سطح مفتول اکسید شود و کربن آن سوخته و از بین برود. این عیب در سطح کار بسیار مضر می‌باشد و علاوه بر اینکه ضخامت مفتول را کم می‌کند، سطح آن را نیز بیش از حد نرم کرده و مقاومت در مقابل ساییدگی و اصطکاک آن را کم می‌کند و قطعات تولید شده از چنین مفتولی در سخت کاری دچار مشکل شده و به خوبی سخت نمی‌گردد. برای رفع این مشکل می‌بایست از کوره‌هایی با اتمسفر مخصوص مثلاً گاز بی‌اثر ازت استفاده نمود.

برخی از فولادها که روی آنها کار سرد انجام می‌گیرد ممکن است بعد از عملیات آنیل سختی خود را از دست نداده و دارای نرمی و قابلیت انعطاف لازم نباشند. در اینجا باید مقطع برش خورده مفتول را مورد بررسی قرار داد .

اگر این مقطع ریز باشد یا دانه‌های فلز در ساختمان میکروسکپی آن خیلی کوچک باشند؛ دلیل آن کافی نبودن درجه حرارت و یا زمان ماند در آنیل‌کاری می‌باشد. برای رفع این عیب باید عمل را دوباره و در درجه حرارت و زمان مناسب تکرار نمود.

اگر مقطع برش قطعه کار درشت باشد و میکروگرافی نیز کریستال‌های درشت را نشان دهد؛ دلیل آن درجه حرارت زیاد و یا مدت طولانی در آنیل کردن است و برای رفع آن می‌توان دوباره با درجه حرارت و زمان مناسب عملیات را تکرار نمود.

اگر مقطع دارای دانه‌های خیلی درشت و درخشنده باشد که به‌وسیله میکروگرافی و بازدید عینی معلوم گردد؛ دلیل آن حرارت خیلی بیش از اندازه و محیط اکسیدکننده و نزدیک به نقطه ذوب است. این عیب را نمی‌توان رفع نمود و علاج کرد.

انواع مفتول

در پایان با برخی از مفتول‌های رایج در صنعت کشش، کاربرد و مشخصه آنها آشنا می‌شویم.

مفتول فولاد معمولی

برای مصارف ساختمانی و صنعتی معمولی، انواع خم‌کاری، آبکاری، روکش و ساخت قطعات لوازم‌خانگی به‌کار می‌رود و مشخصه اصلی آن حداکثر۰/۱ ٪ کربن و حدگسیختگی آن ۳۰۰ $\mathbf{N/mm^2}$ (مگا پاسکال) می‌باشد.

مفتول فولادی با کربن متوسط

این مفتول‌ها برای مصارف خانگی همچنین به تناسب درصد کربن برای آبکاری و سخت‌کاری مناسب می‌باشد و بیشتر در صنایع پیچ و قطعه‌سازی از آنها استفاده می‌شود و بهترین نوع آنها برای این مصارف مفتول‌های $\mathbf{Q}$. $\mathbf{H}$. $\mathbf{C}$ بوده که دارای کیفیت مناسبی برای کوبش می‌باشند. مفتول فولادی با کربن متوسط دارای دامنه وسیعی هستند. از قبیل مفتول‌های

۱۰۱۰ ـ ۱۰۱۸ ـ ۱۰۳۵ ـ ۱۰۳۸ و غیره که میزان درصد کربن آنها از ۰/۱ تـا۰/٦ درصـد و **TS** آنها از N/mm^2 ۳۵۰ به بالا می‌باشد.

مفتول‌های بُردار

مشخصه اصلی آنها میزان بُر(**B**) موجود در آلیاژ می‌باشد وکاربرد اصلی آن در صنایع پیچ و قطعه‌سازی است.

بُر موجب مقاومت و استحکام مغز فولاد در سخت‌کاری سطحی می‌شود .

میزان بُر موجود در آلیاژ این مفتول‌ها بین ۰/۰۰۳ - ۰/۰۰۰۵ درصد بوده و تنش کششی (**TS**) آنها N/mm^2 ۵۵۰ است.

با وجود بُر در فولادها، پایین آمدن قابلیت جوشکاری غیرقابل اجتناب است.

مفتول‌های خوش‌تراش

مشخصه اصلی آنها میزان سرب و منگنز وگوگرد موجود در آلیاژ می‌باشد که به فولادهای خوش‌تراش(**Free Cutting**) معروف بوده و مخصوص عملیات تراشکاری و سری‌تراشی قطعات می‌باشند. سرب به دلیل توزیع ریز و یکنواخت آن موجب شکل‌گیری بُراده‌های کوچک و ریز می‌شود. ماشین‌کاری را سهولت می‌بخشد و یک سطح خوب و تمیـــز را ایجاد می‌کند. میـزان سرب موجود در آلیـاژ بین ۰/۵ ٪ ـ ۲ /۰٪ و میزان منگنز ۱/۳٪ ـ ۰/۹٪ و میزان گوگرد تا ۰/٤ ٪ می‌باشد.

دوزه کشش

امروزه صنعت کشش مفتول نیاز به یافتن روش‌های تولیدی دارد که کیفیت بهتر مفتول کشیده شده را با کمترین هزینه همراه کند. تلاش‌ها و تحقیقات بسیاری در این زمینه به کار گرفته شده است و نتیجه آن دستگاه‌های مدرن با سرعت بالای امروزی می‌باشد.

با ماشین‌آلات بسیار مدرن بدون دوزه هیچ مفتولی کشیده نخواهد شد و همچنین دوزه با کیفیت پایین می‌تواند تمام تلاش‌های فوق را نقش برآب کند.

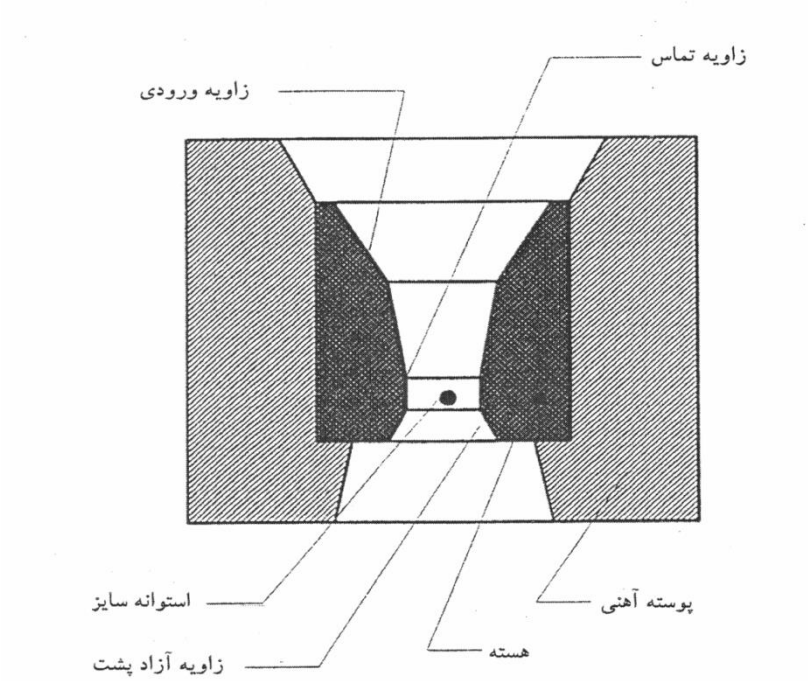
پس باید قبل از هر بهبودی در خطوط تولید و ماشین‌آلات، بتوانیم تکنیک دوزه‌سازی خود را بهبود بخشیم.

در این چند صفحه تلاش شده است که دوزه کشش به خوبی معرفی شود و حساسیت‌ها و کاربردهای مختلف آن نشان داده شود.

کشش مفتول عملیاتی است جهت کاهش قطر یا تغییر شکل مقطع مفتول توسط دوزه یا حدیده کشش با تلرانس محدود و صافی سطح متفاوت.

طراحی دوزه‌های کشش بستگی زیادی به نوع و جنس مفتولی که باید توسط آنها کشیده شود، دارد.

شکل زیر اجزاء اصلی و زوایای مختلف یک دوزه کشش را نشان می‌دهد.



همان‌گونه که در شکل بالا می‌توان مشاهده نمود دوزه کشش از دو جزء اصلی؛ پوسته آهنی و هسته تشکیل گردیده که جنس هسته اغلب تنگستن کارباید می‌باشد. مگر در موارد خاص که جنس هسته را از الماس انتخاب می‌کنند که در این صورت دوزه چندین برابر عمر و همچنین قیمت بسیار بیشتری نسبت به دوزه‌های با هسته تنگستن کارباید خواهد داشت.

پوسته

جنس پوسته اصلی از آهن معمولی بوده و وظیفه اصلی آن در برگرفتن هسته و جلوگیری از ترکیدن آن در اثر نیروهای کشش می‌باشد. در موقع ساخت پوسته خارجی دوزه رعایت ۲نکته حائز اهمیت است. یکی هم مرکز بودن پوسته خارجی با هسته مرکزی و دیگری لق نبودن هسته در جای خود می‌باشد. برای رفع چنین مشکلی محفظه هسته را چند صدم میلیمتر تنگ‌تر از اندازه اصلی هسته تراش داده و سپس پوسته را در کوره قرار می‌دهند و پس از سرخ شدن هسته را در

محل خود گذاشته و به آرامی و دقت آن را پرس می‌کنند. پس از سرد شدن در دمای محیط می‌توان عملیات بعدی را بر روی آن انجام داد.

در مورد هسته‌های بسیار کوچک و ارزان قیمت از پوسته‌های پیچ و مهره‌ای استفاده می‌کنند یعنی هسته را در محفظه خود توسط پیچ و مهره مخصوصی محصور می‌نمایند. ابعاد و اندازه پوسته نسبت‌به ابعاد هسته دارای استانداردی است که در جدول زیر آمده است.

حداکثر اندازه مفتول ورودی	حداکثر اندازه سوراخ	زاویه تماس (درجه)	اندازه‌های استاندارد پوسته		اندازه‌های استاندارد هسته	
			ارتفاع (mm)	قطر (mm)	ارتفاع (mm)	قطر (mm)
۳	۲/۷	۱۲	۱۲/۷	۲۵/۴	۶	۸/۲۵
۵/۳۰	۴/۶	۱۲	۱۹	۳۱/۷۵	۹/۶۵	۱۱/۴۳
۶/۷۵	۵/۸	۱۲	۲۲	۳۱/۷۵	۱۱/۴۳	۱۲/۷
۸/۲	۷/۱۱	۱۲	۲۲	۳۸/۱	۱۵/۲۴	۱۵/۸
۱۰/۱۶	۸/۹۰	۱۲	۲۸/۵۷	۵۰/۸	۱۷/۷۸	۱۸
۱۲/۴۴	۱۰/۷۹	۱۶	۳۴/۹۲	۷۶/۲	۱۹/۵	۱۹/۵
۱۵/۲۴	۱۳/۱۰	۱۶	۴۴/۴۵	۷۶/۲	۲۰/۸	۲۵/۴
۲۰	۱۷/۴۵	۱۶	۴۴/۴۵	۷۶/۲	۲۰/۸	۳۰/۱۵
۲۴/۷۶	۲۲/۲۲	۱۶	۵۰/۸	۸۶/۳۶	۲۵/۴	۳۸/۱
۳۴/۳	۳۱/۷۵	۲۲	۵۷/۱۵	۱۰۱/۶	۳۱/۷۵	۴۶/۴۸
۴۰/۶۴	۳۸/۱	۲۲	۶۰/۳۲	۱۰۱/۶	۳۴/۹۲	۵۵/۵
۴۷	۴۴/۴۵	۲۲	۶۳/۵	۱۷۰/۱۸	۳۴/۹۲	۶۳/۵
۵۹/۷	۵۷/۱۵	۲۲	۶۳/۵	۱۷۷/۸	۳۴/۹۲	۷۶/۲
۶۶	۶۳/۵	۲۲	۶۳/۵	۱۷۷/۸	۳۴/۹۲	۸۸/۹
۷۸/۷۵	۷۶/۲	۲۲	۷۶/۲	۲۲۸/۶	۳۸/۱	۱۰۱/۶

جدول استاندارد فوق از اینچ به میلیمتر تبدیل گردیده است.

هســـــته

همانگونه که قبلاً هم اشاره شد در اکثر موارد جنس هسته از تنگستن کارباید انتخاب مـی‌شـود و دارای زوایای مختلفی به شرح زیر می‌باشد:

- **راهنما**
- **زاویه ورودی**
- **زاویه تماس**
- **استوانه سایز**
- **زاویه خروجی**

راهنما

این قیمت هسته که به صورت یک قیف یا زنگوله می‌باشد فقط برای راهنمایی ورود مفتول مورد استفاده قرار می‌گیرد و مفتول یک لحظه قبل از مرکز شدن و ورود به زاویه تماس با ایـن سـطح تماس پیدا می‌کند و زبری و پولیش این سطح فقط جنبه آرایشی داشـته و هـیچ‌گونـه نقشـی در کشش ایفا نمی‌کند.

زاویه ورودی

عمل زاویه ورودی جهت دادن به پودر یا سایر روانسازهای کشش به طرف زاویه تمـاس اسـت. یعنی جایی که پودر یا روانساز به سطح مفتول در هنگام کشش می‌چسـبد. وضـعیت سـطح ایـن زاویه نیز چندان اهمیت ندارد.

زاویه تماس

زاویه تماس مهم‌ترین قسمت یک دوزه کشش مفتول می‌باشد. تمام کاهش سطح مقطع و فشردگی پودرکشش برروی مفتول درحال عبور در این قسمت رخ می‌دهد. بازدهی هر دوزه کشش مفتـول بستگی به طراحی و دقت عمل این سطح تماس دارد که می‌بایست بـه دقـت تراشـیده و کـاملاً پرداخت گردد. ضلع‌های این زاویه می‌بایست صاف و بدون هرگونه شعاع یـا برآمـدگی در تمـام سطح باشد.

زاویه تماس می‌بایست با دقت و با تجهیزاتی ماشین‌کاری گردد که سطوح آن با استوانه قسمت سایز دارای یک محور باشند. به‌علاوه این زاویه با پوسته آهنی نیز باید هم مرکز باشد.

یک زاویه تماس دقیق در دوزه بیش از آن‌که به‌وسیله درجه کربن جنس مفتول تعیین گردد، از روی درصد کاهش سطح مقطع مشخص می‌شود. برای مثال یک زاویه تماس ۱۶درجه‌ای برای کشش مفتول کم‌کربن، استاندارد پذیرفته شده می‌باشد و معمولاً اهمیت کمی برای نوع به خصوص عملیات کشش یا کاهش سطح مقطع قائل می‌شوند. برای یک ماشین ترکش با ۱۵درصد کاهش سطح مقطع و عملیات در سرعت بالا نسبت‌به دوزه‌ای که در سیستم خشک‌کشی یک مرحله‌ایی با ۳۰درصد کاهش سطح مقطع و سرعت پایین کار می‌کند، خصوصیات جداگانه‌ای برای دوزه باید فراهم نمود. همچنین در کشش مفتول‌هایی که آبکاری روکشی نیاز دارند می‌بایست سطح کشش روشن و لایه کمی از پودر برروی آن باشد حال آن‌که در عملیات کشش مفتول‌های پرچ و میخ باید شرایطی فراهم نمود که لایه بیشتری روان‌ساز برروی آنها وجود داشته باشد.

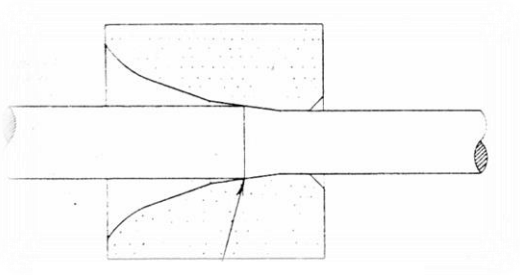
برای هر دو این محصولات فولاد کم‌کربن مورد استفاده قرار می‌گیرد اما دوزه هریک از این محصولات می‌بایست زاویه تماس مخصوص برای کارآیی بیشتر و عمر طولانی‌تر دوزه داشته باشند.

بنابراین امروزه سیستم‌های مدرن کشش مفتول دیگر استاندارد زاویه تماس مثلاً ۱۶درجه‌ای برای کشش مفتول‌های کم‌کربن را به تنهایی معتبر نمی‌دانند و کاهش سطح مقطع و اندازه زاویه تماس را در ارتباط مستقیم با هم به صورت فرمول تجربی زیر تعریف می‌نمایند.

$$2\alpha = \frac{\text{درصد کاهش سطح مقطع}}{2} + 1$$

در این فرمول $\alpha 2$ زاویه تماس دوزه برحسب درجه می‌باشد.

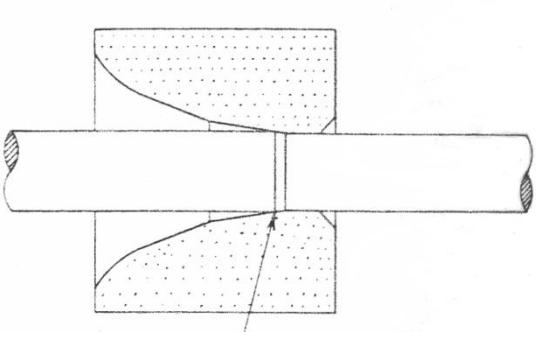
نحوه تماس مفتول با دوزه کشش در زاویه تماس



برخورد صحیح مفتول در زاویه تماس

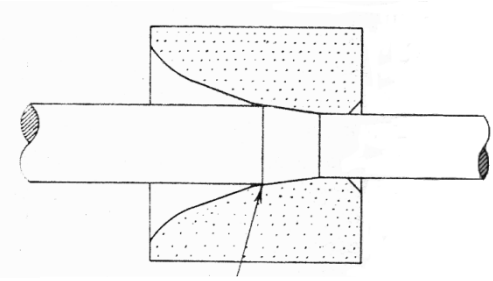
شکل بالا نقطه تماس صحیح مفتول در زاویه تماس را نشان می‌دهد، مفتول ورودی می‌بایست در وسط این سطح با دوزه تماس پیدا کند. در بالای نقطه تماس باید فضای کافی جهت ایجاد فشار برای تماس مواد کشش و فضای کافی برای مخروط کردن مفتول وجود داشته باشد. بدین‌ترتیب عمر یک دوزه تا زمان از بین رفتن نصف سطح مخروطی زاویه تماس ادامه خواهد داشت.

شکل زیر یک نقطه تماس غیرصحیح مفتول ورودی با زاویه تماس را نشان می‌دهد. زاویه برای کاهش سطح مقطع کم، بسیار باز است و مفتول ورودی در انتهای مخروط تماس پیدا می‌کند. تمام تغییر شکل فلزی در فاصله کوتاهی صورت می‌گیرد که باعث فرسایش سریع دوزه می‌گردد.



برخورد غیرصحیح مفتول با زاویه تماس

شکل زیر نیز یک برخورد غیرصحیح مفتول ورودی با زاویه تماس را نشان می‌دهد. زاویه برای کاهش سطح مقطع زیاد مورد لزوم، بسیار کوچک می‌باشد. مفتول ورودی در نزدیکی بالای زاویه تماس با دوزه تماس پیدا می‌کند که این باعث کاهش سطح لازم برای فشردن پودر و در نتیجه کوتاه شدن عمر دوزه می‌گردد.



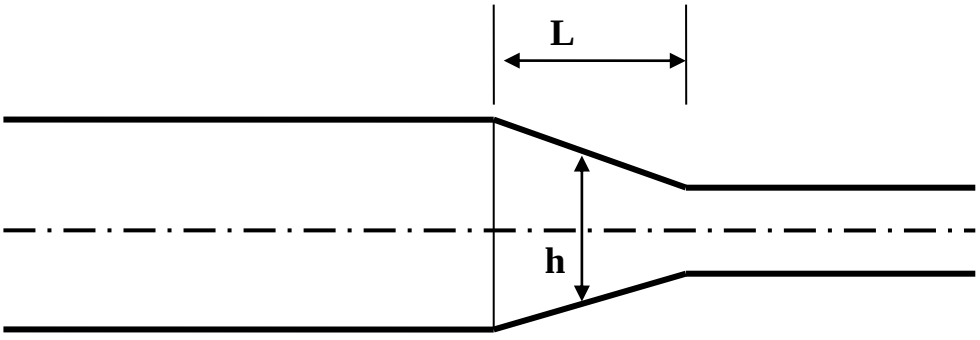
برخورد غیرصحیح مفتول با زاویه تماس

دلتا چیست؟

زاویه تماس شاید مهمترین پارامتر دوزه کشش برای اغلب کاربردها محسوب گردد.

تأثیر زاویه تماس بر جاری شدن فلز (تغییر شکل) نمی‌تواند مستقل از کاهش سطح مقطع باشد و تکنیک‌های مدرن کشش هر دو این فاکتورها یعنی اندازه زاویه تماس و میزان کاهش سطح مقطع را در تغییر شکل فلزی مرتبط دانسته و پارامتر Δ را معرفی می‌نمایند.

دلتا (Δ) یک تعریف هندسی از ناحیه تغییر شکل یافته و نسبت اندازه ناحیه تغییر شکل یافته عمود به محور کشش (h) به اندازه ناحیه موازی با محور کشش (L) یا h/L می‌باشد.



تعریف دیگر آن در کشش مفتول به صورت تقسیم قطر متوسط مخروط کشش بر طول مخروط کشش می‌باشد.

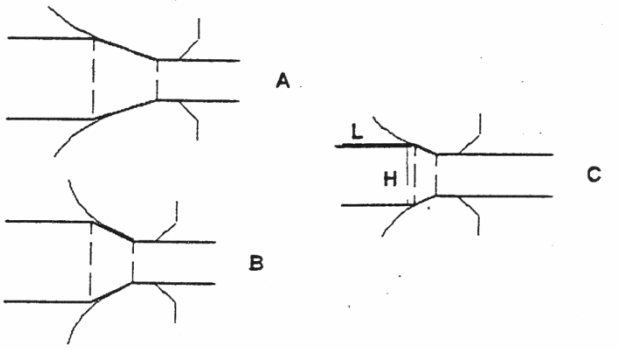
محاسبه مقدار آن براساس فرمول زیر صورت می‌گیرد که در این فرمول:

α نصف زاویه تماس در دوزه است برحسب رادیان

r کاهش سطح مقطع می‌باشد.

$$\Delta = \frac{\propto}{r}(1 + \sqrt{1 - r})^2$$

همانگونه که از فرمول پیداست و در ابتدای بحث نیز به آن اشاره شد، اندازه ناحیه تغییر شکل مفتول در دوزه به دو عامل بستگی دارد یکی زاویه تماس و دیگری کاهش سطح مقطع



A	$\alpha = 4°$	r = 0,25	$\Delta = 0,97$
B	$\alpha = 10°$	r = 0,20	$\Delta = 3,14$
C	$\alpha = 10°$	r = 0,10	$\Delta = 6,65$

در شکل بالا یک مقدار کم برای Δ به معنی یک ناحیه بلند تغییر شکل و تماس زیاد مفتول با دوزه می‌باشد.

یک مقدار زیاد Δ به معنی یک ناحیه کوتاه تغییر شکل با تماس کم مفتول با دوزه کشش می‌باشد.

یک مقدار Δ مساوی با یک به معنی برابری طول و ارتفاع ناحیه کشش می‌باشد.

بنابراین؛

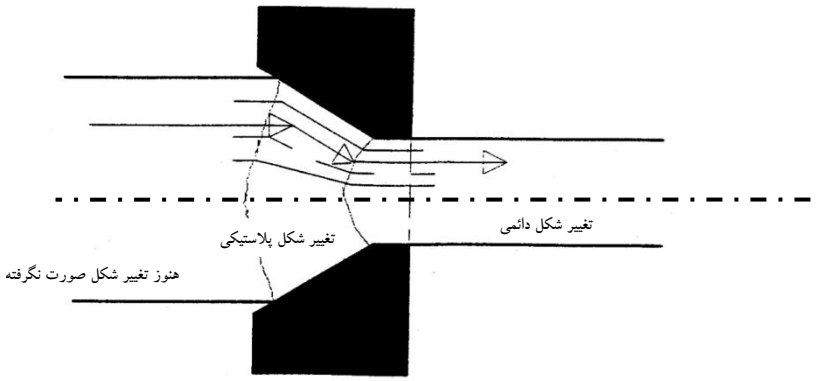
زوایای کم دوزه‌ها با کاهش سطح مقطع زیاد به معنی مقدار Δ کم است و زوایای زیاد دوزه‌ها با کاهش سطح مقطع کم به معنی مقدار Δ زیاد می‌باشد.

در جدول زیر یک لیست مفید از پارامتر Δ نشان داده شده است، که با استفاده از این جدول مقدار Δ برای زوایا و کاهش سطح مقطع‌های مشخص، بدون نیاز به محاسبه در اختیار می‌باشد.

نصف زاویه	کاهش سطح مقطع ٪							
a	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	
2°	2.73	**1.33**	0.86	0.63	0.49	0.39	0.33	
4°	5.46	2.66	**1.72**	**1.26**	0.97	0.79	0.65	
6°	8.19	3.99	2.59	**1.88**	**1.46**	**1.18**	0.98	
8°	10.92	5.32	3.45	2.51	**1.95**	**1.57**	**1.30**	Δ
10°	13.65	6.65	4.31	3.14	2.44	**1.97**	**1.63**	
12°	16.30	7.94	5.15	3.75	2.91	2.35	**1.95**	
14°	19.03	9.27	6.01	4.38	3.40	2.74	2.27	
16°	21.76	10.59	6.87	5.01	3.89	3.14	2.60	

این مسأله بسیار مهم می‌باشد که بدانیم تأثیر زاویه دوزه و کاهش سطح مقطع با همدیگر در نظر گرفته شوند. آنها بسیار مهم هستند زیرا شکل ناحیه تغییر فرم مفتول در دوزه را تعیین می‌کنند. (یعنی همان Δ) کنترل پارامتر Δ جهت جلوگیری از ایجاد ترک مرکزی در مفتول که عامل اصلی بریدن مفتول در پروسه کشش می‌باشد، بسیار مهم است.

همچنین با این کنترل همواره سیلان یکنواخت فلز در هنگام مفتول‌کشی را خواهیم داشت. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است.



خطوط سیلان یکنواخت

معمولاً می‌توان گفت:

پارامتر Δ برای مفتول‌های کم‌کربن می‌بایست ۳ ÷۱ باشد.

پارامتر Δ برای مفتول‌های پرکربن می‌بایست (حداکثر۲/۵) ۲ ÷ ۱ باشد.

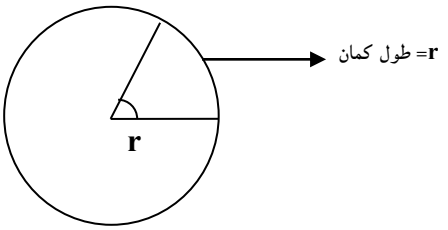
به این معنی که:

نصف زاویه دوزه‌های مفتول کم‌کربن می‌بایست ۸ درجه باشد.

نصف زاویه دوزه‌های مفتول پرکربن می‌بایست ۷ درجه باشد.

در فرمول Δ چون α برحسب رادیان می‌باشد بد نیست اطلاعاتی راجع به رادیان و رابطه‌اش با درجه را یادآور شویم.

یک رادیان عبارتست از: زاویه مرکزی دایره‌ای که طول کمان روبروی این زاویه برابر شعاع دایره باشد. بنابراین می‌توان نوشت:



$$rad = \frac{\text{طول کمان}}{\text{شعاع دایره}}$$

این نکته را باید مدنظر داشت که رادیان فاقد واحد یا دیمانسیون است زیرا یک نسبت عددی بوده و از تقسیم طول کمان بر شعاع به دست می‌آید که هر دو اینها واحد طول دارند در نتیجه عدد به دست آمده فاقد واحد است.

بنابراین زاویه مرکزی یک دایره برحسب رادیان برابر طول کمان کامل آن یعنی محیط آن $(2\pi r)$ تقسیم بر شعاع دایره می‌باشد.

$$\text{زاویه مرکزی برحسب رادیان} = \frac{\text{طول کمان}}{\text{شعاع دایره}} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi$$

از طرفی می‌دانیم که زاویه مرکزی یک دایره ۳۶۰ درجه می‌باشد.

پس خواهیم داشت:

رادیان ۳۶۰ = $\pi 2$

$$1 \text{ رادیان} = \frac{360}{2\pi} = \frac{360}{2 \times 3/14} = 57/3^\circ \text{ تقریباً}$$

یا به عبارتی ۱ درجه مساوی است با $\frac{1}{57/3}$ رادیان یعنی ۰/۰۱۷ رادیان پس می‌توان برای تبدیل زاویه به رادیان فرمول زیر را مورد استفاده قرار داد.

$$\alpha \text{ برحسب رادیان} = \frac{\alpha \times \pi \text{ برحسب درجه}}{180}$$

استوانه سایز (bearing)

وظیفه این قسمت در دوزه کشش، کنترل نهایی قطر مفتول کشیده شده جهت تضمین گردی، صافی و تمیزی سطح نهایی می‌باشد. برای این منظور این سطح باید با دقت ماشین‌کاری شود تا گردی آن حاصل شده و با تلرانس بسیار نزدیک سایز تکمیل گردد. برای جلوگیری از فرسایش سریع دوزه، طول قسمت استوانه‌ایی می‌بایست حدود ۳۵ تا ۵۰ درصد قطر آن باشد. طول صحیح این قسمت به افزایش عمر دوزه کمک می‌کند.

گاهی اوقات اصطلاح کوتاه، متوسط و بلند برای طول این قسمت به کار می‌برند که طول کوتاه یعنی صفر تا ۲۰درصد قطر، متوسط یعنی ۳۰ تا ۵۰ درصد قطر و بلند یعنی ۷۵درصد قطر. وقتی مفتول کشیده شده از دوزه از مسیر منحرف شود، باعث فشار اضافی به یک طرف سطح این استوانه می‌شود.

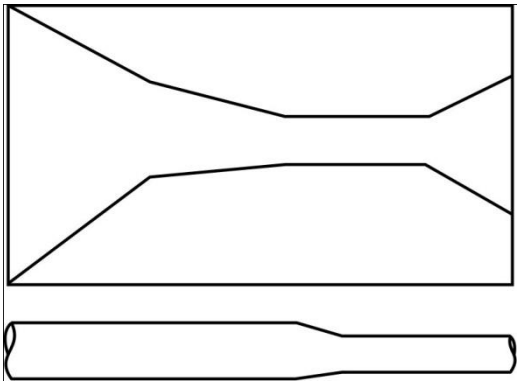
با گسترش تجهیزات اتوماتیک دوزه‌سازی، اکنون تغییرات در طراحی دوزه میسر گردیده که باعث اصلاح درستی ابعاد و کارآیی دوزه نهایی می‌شود. دستگاه‌های دوزه‌سازی یک مقطع واضح و تیز مشترک بین زاویه ووردی و قسمت استوانه‌ای ایجاد می‌نمایند که باعث بهبود کیفیت مفتول و افزایش عمر دوزه و کاهش هزینه می‌گردد. روش‌های قبلی غالباً یک سطح مخروطی برای استوانه سایز درست می‌کردند.

مشکلات زیادی غالباً در روش‌های قدیمی به‌وجود می‌آمد، وقتی که در قسمت استوانه سایز، شیب یا مخروطی وجود داشته باشد به‌طوری که قسمت بزرگ مخروط جلو دوزه و به طرف زاویه آزاد پشت باریک شود، استوانه سایز نیز مانند زاویه تماس ثانویه مورد عمل قرار می‌گیرد و کاهش قطر بیشتر نسبت به حالت استوانه‌ای صورت می‌گیرد. به‌علاوه اگر مخروط در قسمت استوانه سایز وجود داشته باشد، سطح موازی کمتری برای ایجاد قطر باقی می‌ماند.

تصحیح این مشکلات می‌تواند به مقدار زیادی عمر دوزه را افزایش دهد. دو نکته دیگر در قسمت استوانه سایز باید خاطرنشان گردد؛ اول هم‌مرکز بودن این قسمت نسبت‌به زاویه تماس و محفظه فولادی دوزه و دوم قطر این قسمت می‌بایست بسیار نزدیک به محدوده پایین تلرانس مفتول باشد

تا بتوان در اثر کار کردن و گشاد شدن دوزه زمان بیشتری با آن کار کرد. نکته بسیار بسیار مهم برای هم‌مرکز کردن قسمت استوانه سایز و زاویه ورودی این است که تراش زاویه تماس و قسمت سایز بلافاصله پشت سرهم و بدون باز و بسته کردن مجدد دوزه از سه نظام دستگاه صورت گیرد.

شکل زیر یک دوزه با زاویه تماس و استوانه سایز غیر هم‌مرکز به همراه مفتول کشیده شده توسط این دوزه را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل پیداست فشار کشش به یک طرف دوزه و مفتول اعمال می‌گردد که باعث برش پی‌درپی مفتول و فرسایش و خرد شدن فوری دوزه می‌گردد.



زاویه آزاد پشت

سطح مخروطی آزاد پشت جهت مقاومت خروجی و جلوگیری از شکستن هسته طراحی شده است. این زاویه کمک می‌کند تا سطح شکل‌گیری و کاهش قطر مفتول در مرکز طولی هسته قرار گیرد. زاویه آزاد پشت معمولاً در هسته به صورت ریخته‌گری شکل گرفته است. در اغلب موارد این زاویه به‌قدری بزرگ است که برای تغییر دادن سایز دوزه احتیاجی به تراش مجدد آن نباشد. چنانچه طول این زاویه کمتر از ۳/۱۸ میلیمتر شود و یا از بین برود، می‌بایست مجدداً ایجاد گردد.

نگاهی دوباره به زاویه تماس

به دلیل اهمیت بسیار زیاد زاویه تماس در یک دوزه کشش مفتول بد نیست اطلاعات زیر نیز اندوخته گردد:

دوزه‌های کشش برای فولادهای ضدزنگ (استیل) می‌بایست دارای زاویه تماس ۱۸درجه باشند، همچنین طول قسمت استوانه سایز این دوزه‌ها **(bearing)** می‌بایست متوسط باشد (بین ۳۰ تا ۵۰درصد قطر استوانه سایز) محل تقاطع زاویه تماس با قسمت استوانه سایز می‌بایست تیز باشد.

حال آن‌که برای دوزه‌های کشش فولادهای پرکربن (فنرها) زاویه تماس می‌بایست حدود ۱۲درجه باشد چرا که در کشش این فولادها در هر مرحله، کاهش سطح مقطع کمی صورت می‌گیرد. همچنین محل تلاقی زاویه تماس با قسمت استوانه سایز نیز می‌بایست کمی انحناء داشته باشد و از تیز بودن اجتناب شود.

برای کشش مفتول‌های کم‌کربن زاویه تماس می‌بایست حدود ١٤ تا ١٦درجه با طول متوسط قسمت استوانه سایز و همچنین انحناء خوب در محل تلاقی زاویه تماس و قسمت سایز باشد. یک محل تلاقی تیز در دوزه‌های مفتول‌های کم‌کربن موجب تولید مفتول غیر گرد می‌گردد.

دوزه‌های کشش مس می‌بایست زاویه تماس ١٦درجه و طول متوسط استوانه سایز و انحناء خوب در محل تلاقی زاویه تماس با استوانه سایز را داشته باشد.

چنانچه کشش کمی روی مس مدنظر باشد، پیشنهاد می‌گردد قسمت سایزکن دوزه تا حد بلند افزایش یابد و انحناء خوب نیز وجود داشته باشد.

دوزه‌های آلومینیوم دارای زاویه تماس ١٦درجه و طول بلند قسمت سایزکن (۷۵ تا ۱۰۰درصد قطر) هستند. یک سوم طول قسمت سایز می‌بایست به صورت انحناء در محل تلاقی با زاویه تماس درآید. به طوری که نقطه اتمام زاویه تماس و شروع قسمت سایزکن قابل تشخیص نباشند. علت بلند بودن طول قسمت سایز، نرم بودن جنس مورد کشش می‌باشد. زیرا کشش در اثر شیب تند و ناگهانی باعث کشش مضاعف خارج از کنترل دوزه و خراش برروی مفتول می‌گردد. درنتیجه مواد سفت را باید در یک محل تلاقی تیزتر نسبت‌به مواد نرم‌تر کشید. یعنی به‌طورکلی دوزه‌هایی که با آنها مواد سفت کشیده می‌شوند. محل تلاقی زاویه تماس با قسمت سایز، به‌طور

نسبی تیز بوده و انحناء کمی دارند درحالی که در مواد نرم‌تر این تیزی تبدیل به انحناء می‌شود یعنی محلی که مفتول سیال می‌شود در دوزه‌های جنس‌های سفت کم و در دوزه‌های کشش جنس‌های نرم بیشتر است و این محدوده با نرم شدن جنس بزرگتر خواهد شد.

تجهیزات دوزه‌سازی

امروزه متناسب با مقتضیات صنعت کشش مفتول و اهمیت کیفیت دوزه، زاویه تماس و استوانه سایز در دوزه‌ها را با دستگاه‌های اتوماتیک و با استفاده از سوهان‌های الماس مخصوص، تراش یا سنگ‌زده و سپس پولیش می‌نمایند.

برای سنگ زدن زاویه تماس از یک سوهان الماس که معمولاً این سوهان‌ها به صورت مخروط کامل و با زوایای مختلف در بازار عرضه می‌گردند، استفاده می‌شود.

سوهان در محور سنگ‌زنی نصب می‌شود و متناسب با زاویه سوهان و زاویه تماس مورد نیاز باید سه نظام دستگاه (دوزه گیر) تنظیم شود.

مثلاً اگر بخواهیم زاویه تماس ۱۲درجه‌ای را ایجاد کنیم و سوهان ٦ درجه موجود باشد، می‌بایست عدد ٦ را از ۱۲ کم کنیم سپس عدد به دست آمده را تقسیم بر ۲ نموده و عدد حاصل میزان انحراف سه نظام دوزه‌گیر دستگاه می‌شود. با این کار مجموعه زوایای سه نظام و سوهان، زاویه تماس ۱۲ درجه‌ای را به وجود می‌آورند. توضیح این‌که نوک سوهان الماس حتماً باید نازکتر از قسمت استوانه سایز باشد.

با روشن کردن دستگاه و تنظیمات ضروری جهت مرکز شدن سوهان با سه نظام، سوهان که با سرعت زیاد در حال چرخش و همچنین حرکت رفت و برگشتی می‌باشد با زاویه تماس دوزه که آن هم در حال چرخش با سرعت نسبتاً کمتر است یک تماس خطی برقرار می‌کنند و پس از گذشت زمان کافی برای براده برداری لازم سطح یکنواخت در این زاویه ایجاد می‌گردد.

پس از ایجاد زاویه تماس مناسب می‌توان سوهان را باز کرده و به جای آن یک مفتول فولادی که زاویه آن کاملاً شبیه زاویه سوهان باشد بسته شود (یا از سوهان مستعمل بدون آج استفاده شود) و سطح آن آغشته به خمیر پولیش گردیده و مجدداً دستگاه روشن شود تا سطح تراشیده شده پولیش گردد. برای تراش قسمت استوانه سایز نیز کافی است زاویه سوهان را به عدد ۲ تقسیم نموده و

عدد به دست آمده میزان انحراف سه نظام دوزه‌گیر دستگاه (در جهت مخالف مرحله تراش زاویه تماس) خواهد شد. مراحل تراش و پولیش این قسمت نیز شبیه مراحل قبل می‌باشد.
چنانچه از سوهان استوانه برای این قسمت استفاده شود، میزان انحراف سه نظام باید صفر باشد.

خلاصه مطالب مهم

۱ـ هسته دوزه در پوسته خارجی می‌بایست کاملاً هم‌مرکز و پرسی جاسازی شود.

۲ـ هر چه میزان درصد افزایش طول یا کاهش سطح مقطع بیشتر باشد یا عبارتی میزان کشش بیشتر باشد به همان نسبت زاویه تماس نیز بیشتر خواهد بود. مثلاً در یک دستگاه پنج طبله که مفتول ۳ را به ۱/٦ تبدیل می‌کند در طبله اول (۳ به ۲/٦) درصد کاهش سطح مقطع ۲٤/٤ می‌باشد که زاویه ورودی مناسب برای این دوزه ۱٦ می‌باشد و در همین دستگاه در طبله آخر یعنی ۱/۷۸ به ۱/٦ کاهش سطح مقطع ۲۰درصد بوده و زاویه تماس مناسب برای دوزه ۱/٦ این دستگاه ۱۲ درجه خواهد بود. مثالی دیگر اینکه اگر دوزه‌ای مفتول ۱۰ را به ۸ تبدیل کند با دوزه‌ای که مفتول ۸/۵ را به ۸ تبدیل کند دارای زوایای تماس متفاوتی می‌باشند، یعنی اولی زاویه تماس بیشتر نسبت‌به دومی خواهد داشت.

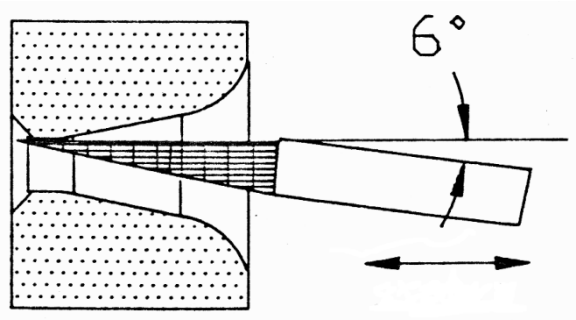
۳ـ زاویه تماس برای دوزه‌های دستگاه‌های ترکش کمتر از زاویه تماس دوزه‌های دستگاه‌های خشک‌کش می‌باشد.

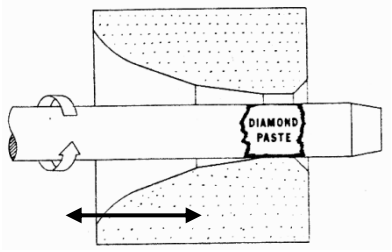
٤ـ زاویه تماس برای فولادهای کم‌کربن حدود ۱٦درجه و برای فولادهای پرکربن حدود ۱۲درجه می‌باشد.

۵ـ طول استوانه سایز معمولاً بین ۳۰ تا ۵۰درصد قطر این استوانه می‌باشد و هر چه جنس مورد کشش نرم‌تر باشد طول این قسمت بیشتر و محل تلاقی آن با زاویه تماس انحنای بزرگتری خواهد داشت.

٦ـ پس از ساخت دوزه (جازدن هسته در پوسته خارجی) حتماً زاویه تماس متناسب با مورد استفاده باید تراش و پولیش شود و به زاویه ریخته‌گری شده هسته اکتفا نگردد و مقدار زاویه ایجاد شده برروی پوسته مانند سایز دوزه برروی پوسته حک گردد تا در بازسازی‌های بعدی دوزه شناخته شده باشد.

۷ـ در دستگاه دوزه‌سازی زاویه انحراف سه نظام به هر سمت که صورت گرفت براده‌برداری استوانه سایز نیز از همان سمت باید انجام شود. در غیر این صورت در موقع تراش قسمت استوانه سایز، یک مخروط کامل ایجاد می‌گردد و تمام طول استوانه سایز زاویه‌دار خواهد شد و همچنین زاویه تماس نیز بزرگتر خواهد شد و همچنین برای تراش زاویه تماس جهت انحراف سه نظام خلاف جهتی است که در موقع تراش استوانه سایز ایجاد می‌شود.





استفاده از سوهان استوانه بدون نیاز به انحراف سه نظام

فولاد چیست؟

برمبنای یک تعریف قدیمی، فولاد، آلیاژی از آهن و کربن می‌باشد که در اکثر حالات دارای انعطاف و شکل‌پذیری مناسبی می‌باشد. مقدار کربن در فولاد تا حدود ۱/۷ درصد متغیر بوده و از طرف دیگر عناصری نظیر منگنز و سیلیسیم در مقادیر کمتر از ۱ درصد و گوگرد و فسفر در مقادیر جزئی به عنوان ناخالصی در فولاد موجود هستند.

امروزه تعریف فوق نمی‌تواند تمام فولادها را شامل شود زیرا فولادهایی وجود دارند که غیر از عناصر ذکر شده برای مقاصد خاص عناصر دیگری را نیز شامل می‌شوند. مثلاً کُرم ـ نیکل ـ مس ـ بُر ـ وانادیم و...

ترکیبی از استحکام بالا و قابلیت چکش‌خواری و شکل‌پذیری فولادها را از دیگر آلیاژها و موادفلزی متمایز می‌سازد. فولادها در مقابل اعمال تنش‌های متغیر و نیروهای ضربه‌ای بسیار مقاوم بوده و از طرف دیگر امکان استفاده از آنها در درجات حرارتی مختلف (از حدود منفی ۱۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد) وجود دارد.

چون تعداد و انواع فولادها بسیار زیاد است و خواص آنها اعم از: مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و متالورژیکی نیز بسیار متنوع می‌باشد و به علاوه با عملیات مختلف نظیر: ریخته‌گری، آهنگری، نورد، کشش، آبکاری و... تغییر حالت می‌دهند، از این رو مطالعه کامل فولادها بسیار مفصل و طولانی است. به همین علت در این قسمت فقط به مطالعه فولادهایی که در صنعت کشش اهمیت ویژه‌ای دارند پرداخته خواهد شد.

فولاد چگونه تولید می‌شود؟

به‌طورکلی فولاد خام با دو روش زیر تولید می‌گردد:

۱ـ تهیه آهن‌خام یا چدن مذاب در کوره بلند **(BF)** و تولید فولاد در کانورترهای اکسیژنی نظیر ذوب‌آهن اصفهان

۲ـ احیای مستقیم سنگ آهن (DR) و ذوب‌آهن اسفنجی و قراضه در کوره‌های قوس الکتریکی نظیر فولاد خوزستان یا کوره‌های الکتریکی القایی نظیر مجتمع فولاد جنوب.

در روش اول، که شیوه سنتی تولید است، از احیای غیرمستقیم آهن استفاده گردیده، سنگ آهن پس از فرآوری به همراه آهک و کک وارد کوره بلند شده، آهن خام یا چدن مذاب به دست می‌آید. در مرحله بعد آهن خام در یک کنورتر (کوره) به فولاد مذاب تبدیل گردیده، کربن و ناخالصی‌های دیگر آن به کمک دمش اکسیژن خارج و فولاد خام تولید می‌گردد.

روش دوم تولید فولاد، استفاده از کوره‌های الکتریکی و ذوب مجدد قراضه آهن و فولاد می‌باشد. به دلیل کمبود منابع قراضه در جهان و نیز رشد فزاینده قیمت آن در طول سالهای گذشته، در این روش می‌توان به همراه قراضه از آهن اسفنجی نیز برای ذوب در کوره استفاده نمود.

آهن اسفنجی محصول عملیات احیای مستقیم سنگ آهن است که دارای عیار بالای آهن بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای قراضه جهت ذوب باشد.

مهمترین مرحله در تولید فولاد چه در کنورتر (کوره) روش اول و چه در کوره ذوب الکتریکی روش دوم از بین بردن ناخالصی‌ها و گازهای مضر و تنظیم مقادیر مورد نیاز عناصر مختلف در مذاب می‌باشد در هیمن مرحله است که فولادها از نظر کیفی و همچنین آنالیز شیمیایی مختلف تولید می‌گردند. یعنی کافی‌ست در این مرحله مذاب به خوبی گازهای محبوس در خود را از دست ندهد و آنها به صورت حباب باقی بمانند تا فولادی کم کیفیت و معمولی تولید شود و یا اینکه گازها با روش‌های مخصوصی کاملاً خارج شده و فولاد با کیفیت خوب و اصطلاحاً آرام یا کشته (Killed) تولید شود. مثلاً فولاد ST فولادی است معمولی و کم کیفیت در حالی که فولاد RST فولادی با کیفیت است. همچنین در این مرحله است که می‌توان فولاد با آنالیز شیمیایی مختلف تولید نمود.

از بین بردن هرگونه ناخالصی و یا گاز در مذاب روش‌ها و تکنیک‌های خاص دارد که به دلیل تخصصی بودن و تنوع روش‌ها از پرداختن به آنها در این جزوه خودداری می‌کنیم.

انواع فولادها

فولادها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱ـ فولادهای آلیاژی مثل فولادهای کرم‌دار، نیکل‌دار، فولادهای نیکل کروم، فولادهای منگنـزی و غیره که مورد بحث اصلی ما نمی‌باشند.

۲ـ فولادهای کربنی ساده که به ۳ دسته تقسیم می‌شوند:

الف: فولادهای کم‌کربن با عناصر اصلی زیر و استحکام کششی ۳۹٤ تا ٤۱۰ مگاپاسکال

کربن= تا ۰/۲ درصد وزنی (C)

منگنز= ۰/۳۵ تا ۰/٦۵ درصد وزنی (MN)

سیلیسیم= ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ درصد وزنی (Si)

فسفر= حدود ۰/۰٦ درصد وزنی (P)

گوگرد= حدود ۰/۰۵ درصد وزنی (S)

ب: فولادهای متوسط کربن با عناصر اصلی زیر و استحکام کششی ٤۱۰ تا ۵٤۰ مگاپاسکال

کربن= ۰/۲ تا ۰/۵ درصد وزنی (C)

منگنز= ۰/۳۵ تا ۰/۸ درصد وزنی (MN)

سیلیسیم= ۰/۲ تا ۰/٤۵ درصد وزنی (Si)

فسفر= ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ درصد وزنی (P)

گوگرد= ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ درصد وزنی (S)

ج: فولادهای پرکربن با عناصر اصلی زیر و استحکام کششی ۵٤۰ مگاپاسکال به بالا

کربن= ۰/۵ تا ۱/٦ درصد وزنی (C)

منگنز= ۰/۵ تا ۰/۸ درصد وزنی (MN)

سیلیسیم= ۰/۲ تا ۰/۸ درصد وزنی (Si)

فسفر= ۰/۰٤ تا ۰/۰۵ درصد وزنی (P)

گوگرد= ۰/۰٤ تا ۰/۰۵ درصد وزنی (S)

نقش عناصر اصلی در فولادهای ساده کربنی

کربن= افزایش کربن باعث افزایش استحکام نهایی و تنش تسلیم می‌شود و همچنین درصد ازدیاد طول نسبی و کاهش سطح مقطع کششی و مقاومت در مقابل ضربه را کاهش می‌دهد.

منگنز= در فولاد اکسیژن زدا و همچنین اثرات مضر گوگرد را در مذاب از بین می‌برد.

سیلیسیم= مانند منگنز اکسیژن زدا بوده و به منظور کنترل گازهای موجود در مذاب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فسفر و گوگرد= عناصر نامطلوب در فولاد می‌باشند مگر در فولادهای خوش‌تراش که در آنها به منظور سهولت تراش میزان گوگرد تا یک درصد مجاز می‌باشد. فسفر و گوگرد در زمان انجماد مذاب باعث ایجاد ترک می‌گردند و از سیالیت مذاب می‌کاهند به همین دلایل مجموع فسفر و گوگرد در فولاد نبایستی از مرز ۰/۱درصد تجاوز نماید.

به دلیل اهمیت موضوع یک بار دیگر یادآوری می‌گردد که در مرحله تصفیه و خالص‌سازی فولاد است که گریدهای مختلف فولاد با آنالیز شیمیایی و خواص مکانیکی مختلف قابل حصول می‌باشد مثلاً در این مرحله برای تولید فولاد پرکربن هرچه بتوان از میزان فسفر و گوگرد در مذاب کم کرده و در مقابل منگنز را تا حد مجاز افزایش دهیم خواهیم توانست از فنر گرید **A** به فنر گرید **B** یا **C** یا **D** دسترسی پیدا کنیم.

شناسایی فولادها

با توجه به تنوع و گستردگی فولادها نیاز به یک زبان مشترک برای نامگذاری آنها ضروری است تا تمامی خریداران، فروشندگان، سازندگان و طراحان در اقصی نقاط دنیا بتوانند فولاد مورد نظر خود را انتخاب کنند. بدین منظور استانداردهای مختلفی تدوین شده است که سیستم نامگذاری توسط انستیتو آهن و فولاد آمریکا **(AISI)** و استاندارد ملی آلمان **(DIN)** در ایران متداولتر می‌باشد، لذا به توضیح مختصر این دو استاندارد نامگذاری می‌پردازیم.

الف: نامگذاری فولادها براساس استاندارد AISI

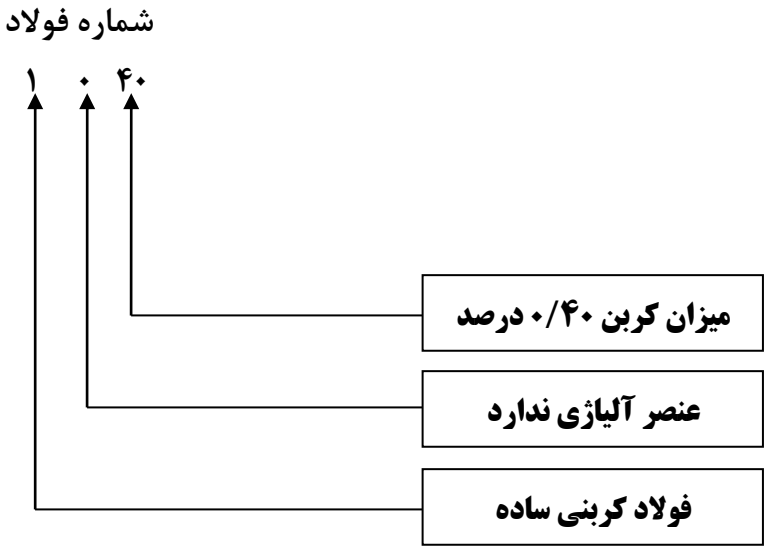
براساس جدول زیر در این سیستم برای نامگذاری فولادها، از یک عدد چهار رقمی استفاده می‌شود که اولین رقم از سمت چپ نشان‌دهنده نوع فولاد است، مثلاً عدد ۱ نشان دهنده فولاد

ساده کربنی و اعداد بالاتر از ۲ نشان‌دهنده فولاد آلیاژی است، دومین رقم نشان‌دهنده مقدار تقریبی عنصر آلیاژی اصلی است و رقم‌های سوم و چهارم نشان‌دهنده میزان کربن به صورت صدم درصد است.

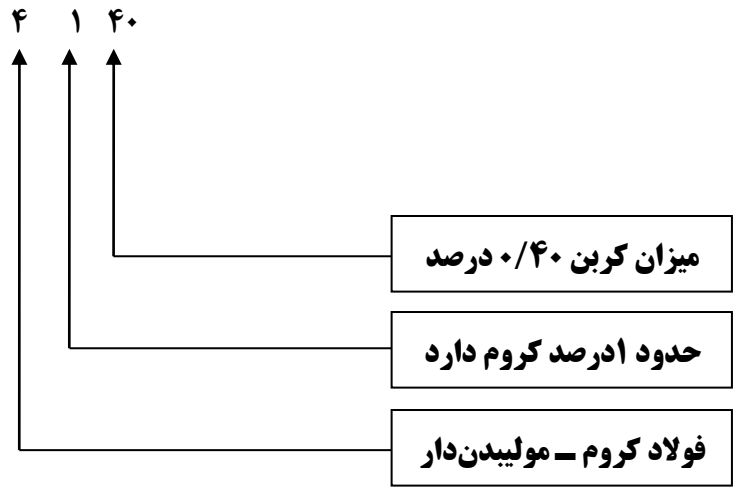
جدول ۱

شماره فولاد	نوع فولاد	شماره فولاد	نوع فولاد
10XX	کربنی ساده	43XX	نیکل ـ کرم ـ مولیبدن‌دار
11XX	سولفیدی	46XX	نیکل ـ مولیبدن‌دار
12XX	فسفری	5 XX	کروم‌دار
13XX	منگنز دار	6XXX	کروم‌دار ـ وانادیم‌دار
2XXX	نیکل‌دار	8XXX	کروم ـ مولیبدن ـ کم نیکل
3XXX	نیکل ـ کروم‌دار	9XXX	نیکل ـ کروم ـ کرم مولیبدن
40XX	مولیبدن‌دار		
41XX	کروم ـ مولیبدن‌دار		

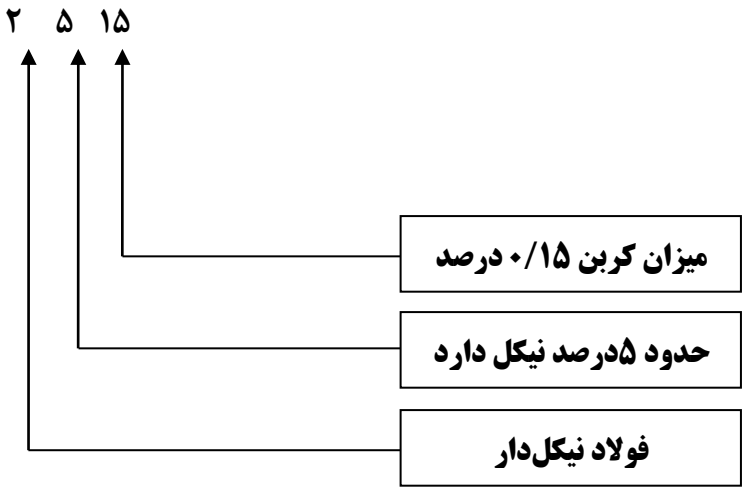
برای درک بهتر به مثال‌های زیر توجه کنید:



شماره فولاد



شماره فولاد



بنابراین هرگاه برای شناسایی یک فولاد با یک عدد چهار رقمی مواجهه شدیم می‌بایست بدانیم که در استاندارد آمریکایی بحث می‌کنیم و با استفاده از جدول ۱ فوری می‌توانیم نوع فولاد و عنصر تعیین کننده و میزان درصد کربن آن را مشخص نمایم و برای پیدا کردن آنالیز دقیق مواد شیمیایی و خواص مکانیکی و یا معادل یافتن برای آن می‌بایست به کتاب‌های مرجع از قبیل کلیدفولاد مراجعه کرد.

ب: نامگذاری فولادها براساس استاندارد DIN

استاندارد آلمان به منظور کدگذاری مواد، دو رویه اساسی را دنبال می‌کند. در رویه اول که مربوط به استاندارد **DIN17006** است، با توجه به کاربرد فولاد، خواص فیزیکی و یا مکانیکی آن کدگذاری کوتاهی روی فولاد براساس نوع کاربرد، درصد کربن و دیگر عناصر آلیاژی به سه روش صورت می‌پذیرد.

روش اول: به نوع فولاد، استحکام نهایی و فرآیند انجام شده برروی فولاد متکی است و برای نامگذاری ابتدا نوع فولاد نوشته می‌شود و پس از آن استحکام نهایی و بعداز استحکام و یا قبل از نوع فولاد فرآیند انجام شده ثبت می‌شود.

برای تسهیل در شناسایی فولادهایی که با این استاندارد کدگذاری شده‌اند لازم است حروف و کدهای زیر به خاطر سپرده شوند.

St: فولاد ساختمانی

عدد بعد از **St** :

نشان‌دهنده استحکام نهایی آن برحسب Kg/mm^2 می‌باشد که با ضرب کردن آن در ۹/۸ استحکام نهایی برحسب نیوتن بر میلیمترمربع یا مگاپاسکال به دست می‌آید.

مثال: **St34** یعنی فولاد ساختمانی با استحکام نهایی ۳٤ کیلوگرم بر میلیمترمربع یا (۳۳۳=۹/۸×۳٤) فولاد ساختمانی با استحکام نهایی ۳۳۳ مگاپاسکال

R : فولاد احیا شده یا بهبود کیفیت یافته یا اکسیژن‌زدایی شده **(Killd)**

۱ : فولاد ساختمانی برای خواص عادی که ممکن است بعداز عدد استحکام نهایی و پس از خط تیره ثبت شود مثلاً St37-1 به معنی فولاد ساختمانی با استحکام نهایی ۳۷ کیلوگرم بر میلیمترمربع با درجه کیفی عادی در اکثر موارد برای این فولادها عدد ۱ ثبت نمی‌شود مثلاً به St34 ـ St37 و ... کفایت می‌کند.

۲ : فولاد ساختمانی برای خواص عالی ـ مثلاً St34-2 یعنی فولاد ساختمانی با استحکام نهایی ۳٤ کیلوگرم بر میلیمترمربع و با درجه کیفی عالی و یا مثلاً RST34-2 یعنی فولاد احیا شده با درجه کیفی عالی با استحکام ۳٤ کیلوگرم بر میلیمترمربع

۳ : فولاد ساختمانی برای خواص مخصوص ـ مثلاً St42-3

بدیهی است چون استحکام نهایی رابطه مستقیم با میزان کربن موجود در فولاد دارد بنابراین هر چه عدد بعد از St بزرگتر باشد می‌توان نتیجه گرفت که میزان کربن موجود در آن فولاد بیشتر است.

جدول ۲ برای فولادهای معروف ساختمانی این رابطه را نشان می‌دهد.

جدول ۲

فولاد با درجه کیفیت متفاوت				
۱ برای خواص عادی	۲ برای خواص عالی	۳ برای خواص مخصوص	استحکام برحسب کیلوگرم بر میلیمترمربع	مقدار کربن برحسب درصد
ST33	-	-	۳۳ تا ۵۰	تعیین نشده است
ST34	ST34-2	ST34-3	۳۴ تا ۴۲	۰/۱۷
ST37	ST37-2	ST37-3	۳۷ تا ۴۵	۰/۲۰
ST42	ST42-2	ST42-3	۴۲ تا ۵۰	۰/۲۵
ST50	ST50-2	-	۵۰ تا ۶۰	۰/۳
-	-	ST52-3	۵۲ تا ۶۲	۰/۲۰
ST60	ST60-2	-	۶۰ تا ۷۲	۰/۴۰
-	ST70-2	-	۷۰ تا ۸۵	۰/۵۰

روش دوم: به آنالیز شیمیایی و فرآیند انجام شده بر فولاد متکی است و برای *فولادهای غیرآلیاژی و کربنی* ساده به کار می‌رود، ابتدا حرف C می‌آید و حروف بعدی فرآیندهای اضافی انجام شده برروی فولاد را نشان می‌دهد. در ادامه و در سومین جایگاه، درصد کربن مشخص می‌شود که لازم است عدد منظور شده بر عدد۱۰۰ تقسیم شود.

F : فولاد غیرآلیاژی سخت شده با شعله القایی

K : فولاد غیرآلیاژی با گوگرد و فسفر کم (یعنی نسبتاً فولاد مرغوب)

M : فولاد غیرآلیاژی با گوگرد کم

q : فولاد غیرآلیاژی برای عملیات پرچ‌کاری

V : فولاد عملیات حرارتی شده

مثال: CK45 یعنی فولاد غیرآلیاژی (C) که گوگرد و فسفرگیری شده است (K) با ۰/٤٥درصد وزن کربن

C45 ـ فولاد غیرآلیاژی با ۰/٤٥ درصد کربن

CM35 ـ فولاد غیرآلیاژی با گوگرد کم و ۰/۳۵ درصد کربن

CF53 ـ فولاد غیرآلیاژی سخت شونده با شعله ۰/۵۳ درصد کربن

C35V70 ـ فولاد با ۰/۳۵ درصد کربن و عملیات حرارتی شده با استحکام ۷۰ کیلوگرم بر میلیمترمربع.

روش سوم: که برای نامگذاری فولادهای کم‌آلیاژ به کار می‌رود در ابتدا عددی است که با تقسیم آن بر۱۰۰ مقدار درصدکربن را نشان می‌دهد و در ادامه عناصرآلیاژی و درصد آنها با اعمال ضرایب جدول زیر آورده می‌شود.

۴		۱۰		۱۰۰		۱۰۰۰
Cr	کروم	AL	آلومینیوم			
CO	کبالت	Cu	مس	C	کربن	
Mn	منگنز	Mo	مولیبدن	S	گوگرد	
Ni	نیکل	Ti	تیتانیوم	N	نیتروژن	B بُر
Si	سیلسیم	V	وانادیم	Cs	سزیم	
W	تنگستن	Pb	سرب			
		Zr	زیرکونیم			
		Be	برلیم			

جدول ۳ ـ ضرایب خاص برای فولادهای غیرآلیاژی

مثال: 25CrMO4 یعنی فولادی با ۰/۲۵ درصد کربن و مقدار ناچیزی مولیبدن و نهایتاً عدد آخر که نشان دهنده میزان درصد عنصر مهم این آلیاژ می‌باشد البته با استفاده از جدول ضرایب بالا، یعنی ۱٪ کروم

درصد کروم ۱=٤ ÷ ٤

به عبارتی در این روش نامگذاری اعداد عناصر مهم آلیاژ ٤ ـ ۱۰ ـ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ برابر نوشته می‌شوند.

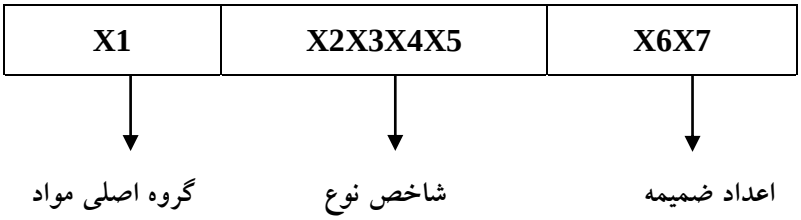
مثال: 11SMnPb30 یعنی فولاد کم آلیاژ با ۰/۱۱ درصد کربن دارای عنصر مهم آلیاژی به نام گوگرد (S) به میزان ۰/۳ (۱۰۰÷۳۰) درصد به همراه منگنز و سرب با توجه به خواص عناصر که در ابتدای این جزوه آمده بود یعنی وجود گوگرد زیاد و همچنین وجود سرب می‌توان نتیجه گرفت که این آلیاژ می‌تواند در رده فولادهای خوش‌تراش قرار گیرد. در همین روش برای فولادهای پرآلیاژ، حرف X قبل از درصد کربن می‌آید. عدد داده شده برای درصد کربن باید به ۱۰۰ تقسیم شود. بعداز آن علامت اختصاری شیمیایی عناصر آلیاژی به ترتیب درصد وزنی در آلیاژ نوشته می‌شود.

مثال: X12Cr13 ـ یعنی فولاد پر آلیاژ با ۰/۱۲ درصد کربن و ۱۳درصد کروم.

X12CrNi188 ـ یعنی فولاد پر آلیاژ با ۰/۱۲ درصد کربن و ۱۸درصد کروم و ۸ درصد نیکل.

متد دوم شماره‌گذاری آلیاژهای آهن براساس DIN17007

این استاندارد برای سهولت در درج نام مواد، کدگذاری هفت رقمی زیر را پیشنهاد کرده است:



در جایگاه اول سمت چپ که گروه اصلی مواد را نشان می‌دهد با استفاده از مفاهیم عددی زیر می‌توانیم دریابیم که کلاً به دنبال ردیابی چه نوع موادی هستیم.

0 ـ آهن خام، آلیاژهای آهن‌دار، چدن

1 ـ فولاد، فولاد ریختگی

2 ـ فلزات غیرآهنی سنگین

3 ـ فلزات سبک

4ـ8ـ مواد غیرفلزی

9 ـ آزاد برای سایر مصارف با کاربرد داخلی

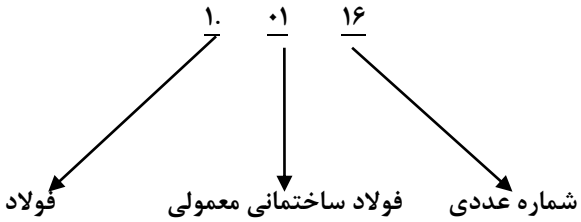
در دو جایگاه بعدی یعنی X_2 و X_3 می‌توان به کاربرد موادی که به دنبال یافتن آنها هستیم دست یافت و چون بحث اصلی ما پیرامون فولادهاست در نتیجه کدهای مربوط به فولادها که در جایگاه X_2 و X_2 این روش شماره‌گذاری مورد استفاده قرار می‌گیرند به شرح زیر هستند.

۰۱ ـ ۱۱ و ۰۲ـ۱۲	فولادهای ساختمانی
۴۰ـ ۴۵	فولادهای ضدزنگ
۱۵ـ۱۸ و ۲۰ـ۲۸	فولادهای ابزاری
۳۲ـ ۳۳	فولادهای تندبر

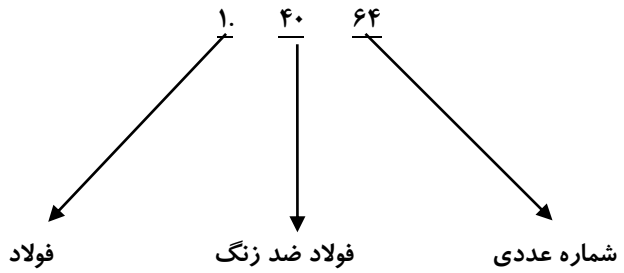
به ترتیب از سمت چپ رقم‌های چهارم و پنجم شماره عددی هستند و هیچ مطلبی را درباره ترکیب شیمیایی بیان نمی‌کند و رقم ششم به فرآیند تولید و رقم هفتم به عملیات حرارتی مربوط

است که بر روی فولاد انجام می‌پذیرند. توجه کنید که از این ارقام هیچ نتیجه مستقیمی درخصوص ترکیب شیمیایی نمی‌توان گرفت و لازم است برای دستیابی به این منظور، به جداول فولاد مراجعه کنید و کلاً این سیستم شماره‌گذاری به منظور یافتن کلی نوع مواد مورد ردیابی می‌باشد. برای مثال ماده با شماره ۱۰۲۳٤٤، به واسطه عدد ۱ از نوع فولادهاست و به دلیل وجود عدد ۲۳ از نوع فولادهای ابزار است.

مثال ۱:



مثال ۱:



فولاد ضد زنگ (Stainless Steel)

گروهی از فولادهای آلیاژی است که در آن از ۱۱ تا ۳۰درصد کروم به عنوان عنصر اصلی برای جلوگیری از زنگ‌زدگی و مقاومت در برابر خوردگی استفاده می‌شود. این خاصیت اولین بار در سال ۱۸۲۱ توسط مهندس فرانسوی پیربارتیه مشاهده شد. به دلیل وجود کروم (Cr) این فولاد دارای استحکام بالا و خواص فوق‌العاده بالای خستگی‌ناپذیری می‌باشد. علاوه بر این خواص مکانیکی خوب، دارای ظاهری زیبا و درخشش فوق‌العاده می‌باشد که می‌توان تمیزکاری راحت آن و مناسب بودن برای مصارف بهداشتی را نیز به ویژگی‌های آن افزود. علاوه بر خواص مذکور می‌توان خواص دیگر این نوع فولاد را به شرح زیر خلاصه نمود:

- مقاومت خوب در مقابل درجه حرارت‌های بالا
- قابلیت هدایت حرارتی کم
- دارای خواص بسیار خوب جذب انرژی
- صددرصد قابل بازیافت
- دارای خواص کششی بالا
- شکل پذیری خوب و قابلیت جوشکاری با تجهیزات سنتی جوش

مقاومت خوب نسبت به خوردگی که در بالا ذکر شد به دلیل وجود مقدار زیادی کروم در این فولادها می‌باشد. مقدار کم کروم مثلاً ۵٪ مقاومت به خوردگی آهن را مقداری افزایش می‌دهد. اما برای رسیدن به فولاد زنگ نزن حداقل ۱۲درصد کروم نیاز است. برابر نظریه‌های کلاسیک، کروم با تشکیل یک لایه اکسید سطحی که لایه‌های زیرین را از خوردگی محافظت می‌کند، سطح آهن را زنگ نزن می‌سازد. برای ایجاد این لایه محافظ، سطح فولاد زنگ نزن باید در تماس با عوامل اکسیدکننده باشد.

اضافه کردن نیکل به فولادهای زنگ‌نزن مقاومت به خوردگی را در محیط‌های خنثی و یا اکسیدکننده ضعیف، افزایش می‌بخشد اما قیمت آنها را نیز افزایش می‌دهد. همچنین مقدار کافی نیکل قابلیت انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری فولادها را افزایش می‌دهد. افزایش مولیبدن به فولادهای زنگ‌نزن مقاومت به خوردگی را در حضور یون‌های کلر افزایش می‌دهد، حال آن که افزودن

آلومینیوم مقاومت به پوسته شدن را در دمای بالا بهبود می‌بخشد. کروم نیز برای افزایش مقاومت به خوردگی آن، اضافه می‌شود.

آلیاژهای مهم فولادهای زنگ‌نزن برمبنای عنصر آلیاژی که به آن افزوده شده است به صورت زیر می‌باشند.

۱ـ آلیاژهای آهن ـ کروم

۲ـ آلیاژهای آهن ـ کروم ـ کربن

۳ـ آلیاژهای آهن ـ کروم ـ نیکل ـ کربن

فولادهای ضدزنگ براساس ساختار متالورژیکی و ترکیب شیمیایی به صورت زیر تقسیم می‌شوند.

۱ـ فولاد زنگ‌نزن فریتی

۲ـ فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی

۳ـ فولاد زنگ‌نزن آستنیتی

٤ـ فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ـ فریتی (دوفازی یا دوپلکس)

۵ـ فولاد زنگ‌نزن رسوب‌سختی

اگر بخواهیم ساختار متالورژیکی فولادهای زنگ‌نزن را بهتر بشناسیم لازم است توضیحات این ساختارها را به شرح زیر یادآور شویم.

فریت یعنی آهنی که با کربن ترکیب نشده است و فولاد فریتی یعنی فولادی که مقدار کمی کربن دارد و با آبدهی سخت نمی‌شود و فولاد زنگ‌نزن فریتی به آلیاژهای آهن مغناطیسی می‌گویند که بیش از ۱۲درصد کروم و ساختار مکعبی مرکز پرداشته باشد **(B.C.C)** که در سری فولادهای ضدزنگ سری ٤۰۰ قرار می‌گیرند که بعداً به آن خواهیم پرداخت.

این فولادها در بعضی موارد دارای خواص چکش‌خواری و شکل‌پذیری و خواص کششی بالایی هستند اما چقرمگی کمی دارند.

مارتنزیت یعنی محلول جامد سخت و فوق اشباع کربن در شبکه تتراگونال مرکز پرآهن **(H.C.P)** و فولاد مارتنزیتی یعنی فولادکربنی آب‌دهی شده و ریز ساختار مارتنزیتی با الگوی سوزنی مشخص می‌شود. فولادهای ضدزنگ مارتنزیتی مغناطیسی که در سری ٤۰۰ قرار می‌گیرند

اصولاً ۱۱ تا ۱۸درصد کروم و ۰/۱ تا ۰/۱۲درصد کربن دارند. این فولادها به دلیل سختی، شکل‌دهی سرد آنها مشکل می‌باشد و دارای خاصیت جوش‌پذیری ضعیفی هستند و از مقاومت خوردگی کمتری برخوردارند.

آستنیت یعنی آهن گاما که در سیستم مکعبی با وجوه مرکز پرمتبلور می‌شود **(F.C.C)** و کربن در آن محلول است و فولاد آستنیتی یعنی فولادی که به کمک وجود منگنز، کبالت و نیکل در هنگام سرد شدن تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد جامد آستنیتی تشکیل شده به مارتنزیت سخت تبدیل نشود و در دمای معمولی پایدار بماند و فولاد زنگ‌نزن آستنیتی یعنی فولادی که بخش عمده آن را آستنیتی تشکیل می‌دهد که در نتیجه آلیاژسازی با نیکل پایدار شده است و معمولاً باید به اندازه کافی کروم داشته باشد تا آن را زنگ‌نزن کند و نیکل به اندازه‌ای باشد که فولاد آستینتی بماند. این فولادها دست‌کم ۱۸درصد کروم و ۸درصد نیکل دارند و به همین دلیل آنها را فولاد زنگ‌نزن ۸ـ۱۸ می‌نامند. این فولادها که در سری ۳۰۰فولادهای ضدزنگ طبقه‌بندی می‌شوند نمی‌توانند با عملیات حرارتی سخت شوند و فقط از طریق عملیات سرد سخت خواهند شد.

دوپلکس آن دسته از فولادهای ضدزنگ هستند که دارای ترکیب شیمیایی و ریزساختار متوازن و تقریباً به نسبت مساوی فریتی و آستنیتی هستند. چقرمگی آنها از گریدهای فریتی بالاتر است اما نسبت‌به گریدهای آستنیتی پایین‌تر است. این فولادها به راحتی قابل جوشکاری بوده و دارای مقاومت کششی بالایی هستند.

رسوب‌سخت‌ها فولادهای ضدزنگی هستند که دارای ۱۵ تا ۱۸درصد کروم و ٤درصد نیکل، ٤درصد مس و ۰/۳درصد نیوبیم می‌باشند. این بدان معناست که این فولادها از طریق انجام عملیات حرارتی در دمای نسبتاً پایینی که سبب رسوب‌گذاری سازنده‌ها یا فازهای آلیاژ از محلول جامد فوق اشباع می‌شود، افزایش سختی پیدا می‌کنند. این‌گونه عملیات حرارتی امکان ماشین‌کاری فولاد را میسر می سازد و پس از ماشین‌کاری یا شکل‌دهی می‌توانند در یک درجه حرارت پایین عملیات سخت‌کاری برروی آنها صورت گیرد و چون این عملیات در دمای پایین است، در قطعه کار هیچ انحرافی رخ نمی‌دهد.

در جدول زیر مقایسه خواص آلیاژهای مختلف فولادهای زنگ‌نزن آمده است.

گروه آلیاژ	تشدید مغناطیسی	میزان کارسختی	مقاومت خوردگی	قابلیت سخت‌کاری	شکل‌پذیری	مقاومت در دمای بالا	مقاومت در دمای پایین	جوش‌پذیری
آستیتی	معمولاً خیر	خیلی زیاد	زیاد	با کار سرد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
دوپلکس	بله	متوسط	خیلی زیاد	خیر	متوسط	کم	متوسط	زیاد
فریتی	بله	متوسط	متوسط	خیر	متوسط	زیاد	کم	کم تا زیاد
مارتنزیتی	بله	متوسط	متوسط	آبکاری و بازپخت	کم	کم	کم	کم
رسوب‌سختی	بله	متوسط	متوسط	سخت‌کاری در دمای پایین	متوسط	کم	کم	زیاد

رده‌بندی‌های استاندارد فولادهای ضدزنگ

صدها نوع فولاد ضدزنگ وجود دارد که براساس کاربرد و ترکیبات شیمیایی آنها به دو روش نامگذاری و کدگذاری می‌شوند.

روش اول یا روش آمریکایی قدیمی **(SAE)** ـ همانگونه که برای فولادهای کربنی مبتنی‌بر یک عدد چهاررقمی است برای فولادهای ضدزنگ نیز نامگذاری مبتنی‌بر یک عدد ۳ رقمی در قالب گروه‌های ۲۰۰ـ۳۰۰ ـ۴۰۰ ـ۵۰۰ ـ۶۰۰ می‌باشد. این روش امروزه توسط **SAE** و **ASTM** یکسان‌سازی گردیده و به صورت یک حرف و به دنبال آن یک عدد پنج رقمی فولادهای ضدزنگ را نامگذاری می‌نماید. در این روش حرف **S** به معنی فولاد ضدزنگ و حرف **N** نشان دهنده فولاد ضدزنگ با پایه نیکل می‌باشد.

روش دوم یا همان روش اروپایی (DIN) ـ مبتنی‌بر نشان دادن میزان صدم درصد کربن و همچنین درصد عناصر اصلی که کروم و نیکل می‌باشند، است و از آنجایی که این آلیاژها در رده فولادهای پرآلیاژی قرار دارند قبل از هر چیز با حرف **X** مشخص می‌شوند مثل **X2CrNi18-8** که در آن **X** یعنی فولاد پرآلیاژ و ۲ یعنی ۰/۰۲ درصد میزان کربن موجود آلیاژ می‌باشد و همچنین عناصر مهم را کروم و نیکل مشخص کرده با درصد وزنی ۱۸ برای کروم و ۸ برای نیکل.

روش دیگر نامگذاری اروپایی بدین‌ترتیب است که تمامی فولادها را به صورت عدد یک ـ نقطه ـ عدد چهار رقمی، شماره‌گذاری می‌کند. مثلاً فولاد ضدزنگ ۳۰۴ را به صورت ۱,۴۳۰۱ نشان

می‌دهد که (۱) یعنی فولاد و (٤٣) نشان دهنده گروه فولاد، یعنی فولاد ضدزنگ می‌باشد و (۰۱) نشان‌دهنده تعیین هویت منحصر بفرد فولاد می‌باشد.

در روش قدیمی آمریکایی سه عددی که هم اکنون نیز رایج‌ترین نامگذاری فولادهای ضدزنگ می‌باشد ممکن است بعداز سه عدد اصلی، یک حرف نیز درج شود که مهمترین آنها به قرار زیر هستند.

L ـ به معنی کم‌کربن می‌باشد برای دستیابی به خاصیت جوشکاری بهتر. مثلاً 304L یعنی فولاد ضدزنگ ۳۰٤ با درصد کربن کمتر و به همین دلیل ضعیف‌تر ولی با خاصیت جوش‌پذیری بهتر.

H ـ به معنی کربن زیاد می‌باشد برای دستیابی به مقاومت بیشتر

N ـ به معنی وجود نیترون در آلیاژ است که به منظور افزایش مقاومت تسلیم و نهایی این کار صورت می‌گیرد. معمولاً در فولادهای ضدزنگ L برای جبران کاهش مقاومت به دلیل کاهش کربن، نیتروژن می‌افزایند که این نقیصه را بر طرف نماید و معمولاً به صورت LN یعنی کم کربن نیتروژن‌دار می‌آید. میزان نیتروژن معمولاً از ۰/۱ تا ۰/۲۵ درصد بیشتر نمی‌شود تا از ایجاد تخلخل در شمش جلوگیری شود.

S ـ در آلیاژهای کروم ـ نیکل بالا به معنی کاهش میزان کربن است که باعث کاهش مقاومت در برابر حرارت‌های بالا می‌شود مثل309S یا 310S که از 309 و 310 و همچنین 309H و 310H مقاومت حرارتی کمتری دارند.

Q ـ به معنی فولاد ضدزنگ مناسب برای کله‌زنی است که معمولاً به صورت HQ می‌آید مثل 304HQ

F ـ به معنی افزایش گوگرد برای تراش بهتر است.

A-B-C ـ به معنی افزایش یک عنصر به‌خصوص در آلیاژ می‌باشد مثلاً 440A یعنی افزایش کربن نسبت‌به ٤٤۰ و همینطور 440B یعنی افزایش کربن نسبت‌به 440A و ...

همانگونه که قبلاً هم اشاره شد صدها نوع فولاد ضدزنگ با خواص مکانیکی و ترکیبات شیمیایی مختلف امروزه در صنایع گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند که کاربردی‌ترین آنها به قرار زیر می‌باشند.

سری ۲۰۰ـ آلیاژهای آستینتی کروم ـ نیکل ـ منگنز هستند که برای صرفه‌جویی در مصرف نیکل، منگنز جایگزین آن می‌شود که به ازاء هر یک درصد نیکل، دو درصد منگنز جایگزین شده است و مهمترین آنها عبارتند از:

۲۰۱ـ فولاد ضدزنگ آستنیتی که با کار سرد قابلیت سخت شدن دارد.

۲۰۲ـ فولاد ضدزنگ آستنیتی برای مصارف عمومی

سری ۳۰۰ـ آلیاژهای آستنیتی کروم ـ نیکل هستند که پر مصرف‌ترین گروه فولادهای ضدزنگ محسوب می‌شوند. آلیاژ پایه این گروه ۳۰٤ می‌باشد، از این رو تمام آلیاژهای این گروه را با ۳۰٤ مقایسه می‌کنند و مهمترین آنها عبارتند از:

۳۰۱ـ بسیار شکل‌پذیر و سخت شونده سریع در اثر کار مکانیکی، جوش‌پذیری خوب و دارای مقاومت خستگی و نهایی بهتر نسبت به ۳۰٤

۳۰۲ـ دارای مقاومت در برابر خوردگی شبیه به ۳۰٤ ولی به دلیل دارا بودن کربن بیشتر، کمی از ۳۰٤ مقاومتر می‌باشد.

۳۰۳ـ نوع خوش‌تراش ۳۰٤ می‌باشد به دلیل وجود گوگرد و فسفر اضافی و به نام فولاد A_1 نیز براساس ایزو ۳۵۰٦، شناخته می‌شود.

۳۰٤ـ اصلی‌ترین فولاد ضدزنگ بوده که به صورت کلاسیک فولاد ضدزنگ ۸ ـ۱۸ نامیده می‌شود. (۱۸درصد کروم ـ ۸ درصد نیکل). خارج از آمریکا براساس ایزو ۳۵۰٦ به نام فولاد A_2 شناخته می‌شود.

L ۳۰٤ـ کاملاً شبیه ۳۰٤ بوده ولی به دلیل کربن کمتر کمی ضعیف‌تر ولی با خاصیت جوش‌پذیری بهتری می‌باشد.

LN ۳۰٤ـ کاملاً شبیه L ۳۰٤ می‌باشد که برای تقویت ضعف مقاومت خستگی و استحکام نهایی، نیتروژن به آن اضافه شده است.

۳۰۸ـ به عنوان سیم‌جوش برای جوشکاری فولاد ۳۰٤ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳۰۹ـ تحمل دمایی بالاتر از ۳۰٤ دارد و گاهی اوقات به عنوان سیم‌جوش نیز به دلیل مقاومت بالای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳۱٦ـ بعداز ۳۰٤ اصلی‌ترین گرید فولاد ضدزنگ می‌باشد که در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل داشتن مولیبدن از انواع خاصی از خوردنگی جلوگیری می‌کند و همچنین به دلیل مقاومت زیادتر در مقابل خورندگی کلر در مقیاس با فولاد ۳۰٤ این فولاد را فولاد ضدزنگ دریایی نیز می‌نامند و در صنایع هسته‌ایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

L ۳۱٦ـ که براساس ایزود ۳۵۰٦ فولاد A4 نیز نامیده می‌شود به دلیل کاهش خیلی زیاد میزان کربن نسبت‌به ۳۱٦ و مقاومت بسیار زیاد در مقابل خوردگی در کاربردهای دریایی و ساخت ساعت‌های ضدزنگ و شیرهای راکتورها کاربرد زیادی دارد.

Ti ۳۱٦ـ از انواع فولاد ۳۱٦ می‌باشد که به آن تیتانیوم به منظور افزایش مقاومت حرارتی افزوده شده است.

۳۲۱ـ شبیه به فولاد ۳۰٤ می‌باشد ولی به دلیل اضافه شدن تیتانیوم ریسک خوردگی جوش کمتری نسبت‌به ۳۰٤ دارد همانند فولاد ۳٤۷ که با افزودن نیوبیم باعث کم شدن حساسیت فولاد در هنگام جوشکاری می‌گردد.

سری ٤۰۰ ـ آلیاژهای فریتی و مارتنزیتی کروم هستند که غالباً به جز موارد خاص بدون نیکل هستند. ساختار مارتنزیتی آنها با کربن بالای ۰/۲ درصد و فریتی آنها با کربن زیر ۰/۲درصد می‌باشد و تفاوت عمده آنها با گروه ۳۰۰ این است که این گروه فولادهای بگیر (مگنت) می‌باشند و مهمترین آلیاژ آن فولاد ٤۳۰ است. Fe-23%Cr

مهمترین فولادهای زیر گروه ٤۰۰ عبارتند از:

٤۰۵ـ فولاد ضدزنگ فریتی بر کاربردهای جوشکاری

٤۰۸ـ با ۱۱درصد کروم و ۸درصد نیکل مقاوم در برابر حرارت و ضعیف در برابر خوردگی می‌باشد.

٤۰۹ـ دارای ساختار فریتی (فقط آهن و کروم) است. ساده‌ترین نوع می‌باشد که در ساخت اگزوز اتومبیل کاربرد دارد.

٤١٠ـ دارای ساختار مارتنزیتی مقاومت بالای آهن ـ کروم است که مقاومت سایشی دارد ولی مقاومت خوردگی آن کم است.

٤١٦ـ خوش‌تراش می‌باشد به دلیل گوگرد اضافی.

٤٢٠ـ به فولاد ضدزنگ مارتنزیتی کاردگری معروف است که برای ساخت کارد و وسایل برنده مورد استفاده قرار می‌گیرد که خاصیت پولیش شوندگی خیلی خوبی دارد.

٤٣٠ـ دارای ساختار فریتی می‌باشد که فولاد تزیینی نیز نام دارد. دارای شکل‌پذیری خوب اما مقاومت حرارتی و خوردگی کمی دارد.

٤٣٩ـ با ساختار فریتی کمی بالاتر از گرید ٤٠٩ می‌باشد که در اگزوزهای کاتالیزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل افزایش کروم مقاومت خوردگی ـ اکسیدی آن در حرارت بالا بیشتر است.

٤٤٠ـ فولادی است با یک گرید برتری نسبت‌به فولاد کاردگری که به دلیل کربن بیشتر قابلیت سخت‌کاری لبه‌های تیز را دارد و تا حدود ٥٨ راکول سختی‌پذیر است که این خاصیت این فولاد را سخت‌ترین فولاد ضدزنگ می‌سازد. به دلیل چقرمگی خوب و قیمت کم، بسیار کاربردی هستند در صنعت کاردسازی و در گریدهای 440A و 440B و 440C و 440F (ماشین‌کاری خوب) تقسیم‌بندی می‌شوند.

سری ٥٠٠ ـ آلیاژهای کروم مقاوم در برابر حرارت

سری ٦٠٠ـ اصالتاً برای فولادهای اختصاصی ایجاد شده است که در نامگذاری SAE نیامده است.

٦٠١ تا ٦٠٤ ـ فولادهای کم آلیاژ مارتنزیتی.

٦١٠ تا ٦١٣ ـ فولادهای مارتنزیتی با سخت‌کاری ثانویه.

٦١٤ تا ٦١٩ ـ فولادهای مارتنزیتی کروم.

٦٣٠ تا ٦٣٥ ـ فولادهای ضدزنگ شبه آستنیتی و مارتنزیتی رسوب سختی.

- **در این رده فولاد ٦٣٠ بسیار شناخته شده به عنوان ضدزنگ PH می‌باشد و ٤ـ١٧ نامیده می‌شود یعنی ١٧درصد کروم و ٤ درصد نیکل.**

٦٥٠ تا ٦٥٣ ـ فولادهای آستنیتی با قابلیت سخت‌کاری با کار گرم و سرد.

٦٦٠ تا ٦٦٥ ـ سوپر آلیاژهای آستنیتی. تمامی گریدهای آن به جز ٦٦١ به روش رسوب سختی فاز دوم مقاوم می‌شوند.

آنالیز شیمیایی گریدهای مختلف فولادهای ضدزنگ

نام گذاری SAE	نام گذاری مشترک ASTM-SAE	% Cr	% Ni	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% N	سایر
آستنیتی										
201	S20100	16–18	3.5–5.5	0.15	5.5–7.5	0.75	0.06	0.03	0.25	-
202	S20200	17–19	4–6	0.15	7.5–10.0	0.75	0.06	0.03	0.25	-
205	S20500	16.5–18	1–1.75	0.12–0.25	14–15.5	0.75	0.06	0.03	0.32–0.40	-
254	S31254	20	18	0.02 max	-	-	-	-	0.20	6 Mo; 0.75 Cu; "Super austenitic"; All values nominal
301	S30100	16–18	6–8	0.15	2	0.75	0.045	0.03	-	-
302	S30200	17–19	8–10	0.15	2	0.75	0.045	0.03	0.1	-
302B	S30215	17–19	8–10	0.15	2	2.0–3.0	0.045	0.03	-	-
303	S30300	17–19	8–10	0.15	2	1	0.2	0.15 min	-	Mo 0.60 (optional)
303Se	S30323	17–19	8–10	0.15	2	1	0.2	0.06	-	0.15 Se min
304	S30400	18–20	8–10.50	0.08	2	0.75	0.045	0.03	0.1	-
304L	S30403	18–20	8–12	0.03	2	0.75	0.045	0.03	0.1	-
304Cu	S30430	17–19	8–10	0.08	2	0.75	0.045	0.03	-	3–4 Cu
304N	S30451	18–20	8–10.50	0.08	2	0.75	0.045	0.03	0.10–0.16	-
305	S30500	17–19	10.50–13	0.12	2	0.75	0.045	0.03	-	-
308	S30800	19–21	10–12	0.08	2	1	0.045	0.03	-	-
309	S30900	22–24	12–15	0.2	2	1	0.045	0.03	-	-
309S	S30908	22–24	12–15	0.08	2	1	0.045	0.03	-	-
310	S31000	24–26	19–22	0.25	2	1.5	0.045	0.03	-	-
310S	S31008	24–26	19–22	0.08	2	1.5	0.045	0.03	-	-
314	S31400	23–26	19–22	0.25	2	1.5–3.0	0.045	0.03	-	-
316	S31600	16–18	10–14	0.08	2	0.75	0.045	0.03	0.10	2.0–3.0 Mo

316L	S31603	16–18	10–14	0.03	2	0.75	0.045	0.03	0.10	2.0–3.0 Mo
316F	S31620	16–18	10–14	0.08	2	1	0.2	0.10 min	-	1.75–2.50 Mo
316N	S31651	16–18	10–14	0.08	2	0.75	0.045	0.03	0.10–0.16	2.0–3.0 Mo
317	S31700	18–20	11–15	0.08	2	0.75	0.045	0.03	0.10 max	3.0–4.0 Mo
317L	S31703	18–20	11–15	0.03	2	0.75	0.045	0.03	0.10 max	3.0–4.0 Mo
321	S32100	17–19	9–12	0.08	2	0.75	0.045	0.03	0.10 max	Ti 5(C+N) min, 0.70 max
329	S32900	23–28	2.5–5	0.08	2	0.75	0.04	0.03	-	1–2 Mo
330	N08330	17–20	34–37	0.08	2	0.75–1.50	0.04	0.03	-	-
347	S34700	17–19	9–13	0.08	2	0.75	0.045	0.030	-	Nb + Ta, 10 x C min, 1 max
348	S34800	17–19	9–13	0.08	2	0.75	0.045	0.030	-	Nb + Ta, 10 x C min, 1 max, but 0.10 Ta max; 0.20 Ca
384	S38400	15–17	17–19	0.08	2	1	0.045	0.03	-	-

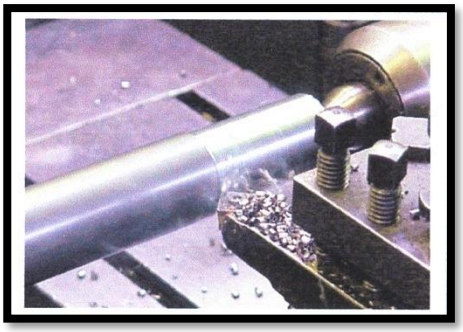
نام گذاری SAE	نام گذاری مشترک ASTM-SAE	% Cr	% Ni	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% N	سایر
فریتی										
405	S40500	11.5–14.5	-	0.08	1	1	0.04	0.03	-	0.1–0.3 Al, 0.60 max
409	S40900	10.5–11.75	0.05	0.08	1	1	0.045	0.03	-	Ti 6 x (C + N) [10]
429	S42900	14–16	0.75	0.12	1	1	0.04	0.03	-	-
430	S43000	16–18	0.75	0.12	1	1	0.04	0.03	-	-
430F	S43020	16–18	-	0.12	1.25	1	0.06	0.15 min	-	0.60 Mo (optional)
430FSe	S43023	16–18	-	0.12	1.25	1	0.06	0.06	-	0.15 Se min
434	S43400	16–18	-	0.12	1	1	0.04	0.03	-	0.75–1.25 Mo
436	S43600	16–18	-	0.12	1	1	0.04	0.03	-	0.75–1.25 Mo; Nb+Ta 5 x C min, 0.70 max
442	S44200	18–23	-	0.2	1	1	0.04	0.03	-	-
446	S44600	23–27	0.25	0.2	1.5	1	0.04	0.03	-	-

نام گذاری SAE	نام گذاری مشترک ASTM-SAE	% Cr	% Ni	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% N	سایر
مارتنزیتی										
403	S40300	11.5–13.0	0.60	0.15	1	0.5	0.04	0.03	-	-
410	S41000	11.5–13.5	0.75	0.15	1	1	0.04	0.03	-	-
414	S41400	11.5–13.5	1.25–2.50	0.15	1	1	0.04	0.03	-	-
416	S41600	12–14	-	0.15	1.25	1	0.06	0.15 min	-	0.060 Mo (optional)
416Se	S41623	12–14	-	0.15	1.25	1	0.06	0.06	-	0.15 Se min
420	S42000	12–14	-	0.15 min	1	1	0.04	0.03	-	-
420F	S42020	12–14	-	0.15 min	1.25	1	0.06	0.15 min	-	0.60 Mo max (optional)
422	S42200	11.0–12.5	0.50–1.0	0.20–0.25	0.5–1.0	0.5	0.025	0.025	-	0.90–1.25 Mo; 0.20–0.30 V; 0.90–1.25 W
431	S41623	15–17	1.25–2.50	0.2	1	1	0.04	0.03	-	-
440A	S44002	16–18	-	0.60–0.75	1	1	0.04	0.03	-	0.75 Mo
440B	S44003	16–18	-	0.75–0.95	1	1	0.04	0.03	-	0.75 Mo
440C	S44004	16–18	-	0.95–1.20	1	1	0.04	0.03	-	0.75 Mo

نام گذاری SAE	نام گذاری مشترک ASTM-SAE	% Cr	% Ni	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% N	سایر
مقاوم حرارتی										
501	S50100	4–6	-	0.10 min	1	1	0.04	0.03	-	0.40–0.65 Mo
502	S50200	4–6	-	0.1	1	1	0.04	0.03	-	0.40–0.65 Mo
مارتنزیتی رسوب سختی										
630	S17400	15-17	3-5	0.07	1	1	0.04	0.03	-	Cu 3-5, Ta 0.15-0.45

فولادهای خوش‌تراش (Free- Cutting Steels)

این نوع فولادها در صنعت به‌خصوص در قطعه‌سازی کاربرد بسیار زیادی دارند و ویژگی اصلی آنها قابلیت ماشینکاری خوب (تراشکاری و سوراخکاری با سرعت بالا) و نهایتاً کیفیت سطح خوب می‌باشد. به دلیل این‌که ماشینکاری در سرعت‌های بالا معمولاً توسط دستگاه‌های اتوماتیک صورت می‌گیرد، بعضاً این فولادها را فولاد اتومات نیز می‌نامند.



پارامترهای مؤثر بر ماشینکاری عبارتند از:

- آنالیز شیمیایی
- شکل و توزیع سولفید منگنز
- وجود رگه‌ها (ریز سازنده‌ها یا مواد خارجی طویل شده)
- کار سختی و ویژگی‌های مکانیکی

بررسی جزییات هریک از پارامترهای فوق

آنالیز شیمیایی

کربن C :

استاندارد اروپایی برای محصولات نهایی سرد کشیده شده این فولادها، کربن کمتر یا مساوی ۱٤صدم درصد را مقرر داشته است (C≤ ٪۰/۱٤). معمولاً این فولادها با میزان C≤٪۰/۱۰ ارایه می‌گردند، مانند فولادهای کم‌کربن در این فولادها نیز عیب نرمی را می‌توان با کاهش‌های سطح مقطع مناسب تصحیح نمود.

سیلیسیم Si :

استاندارد اروپایی برای محصولات نهایی سرد کشیده شده این فولادها، میزان سیلیسیم Si ٪۰/۰۵ ≤ را مقرر داشته. این عنصر برای ماشینکاری بسیار مضر می‌باشد و مقدار آن می‌بایست به شدت

کاهش یابد. در حقیقت سیلیسیم میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن موجود در فولاد دارد و این باعث شکل‌گیری اکسید سیلیسیم که ناخالصی ساینده ابزار تراش می باشد، به حساب می‌آید. علاوه‌بر آن سیلیسیم تأثیر منفی بر شکل سولفید منگنز دارد. مقدار سیلیسیم مناسب برای بهترین حالت ماشینکاری $Si \leq ٪۰/۰۲$ می‌باشد.

منگنز Mn :

این عنصر در فولادها به شکل سولفیدهای منگنز یا محلول در ساختار پایه فریتی وجود دارد. مقدار آن می‌تواند از ۰/۹ تا ۱/۵ درصد متغییر باشد.

فسفر P :

این عنصر در پایه ریز ساختار فریتی محلول می‌باشد، به افزایش سختی و شکنندگی می‌افزاید، در فولاد براده‌های تکه‌تکه ایجاد می‌نماید. استاندارد اروپایی برای محصولات نهایی سرد کشیده شده این فولادها، مقدار فسفر را به میزان $P \leq ٪۰/۱۱$ مقرر داشته است.

گوگرد S :

در فولاد به صورت سولفیدهای منگنز وجود دارد. این عنصر یکی از پارامترهای تعیین کننده قابلیت ماشینکاری می‌باشد. گوگرد قادر است در عملیات ماشینکاری اصطلاک را کم کند و براده ریز ایجاد کند. میزان گوگرد در این فولادها ممکن است از ۰/۲۷ تا ۰/٤ درصد متغییر باشد. گوگرد حساسیت‌پذیری ترک‌های جوشکاری را افزایش می‌دهد، در نتیجه فولادهای خوش‌تراش قابلیت جوشکاری خوبی ندارند.

سرب Pb :

در آهن غیرمحلول است، تمایل به اتصال با ناخالصی‌های غیرفلزی موجود در فولاد دارد و یا به صورت ذرات مجزا در فولاد یافت می‌گردد.

سرب به صورت یک روانساز در فولاد خوش‌تراش عمل می‌کند، ضریب اصطکاک بین ابزار برنده و براده را کاهش می‌دهد.

استاندارد اروپایی میزان سرب را در این فولادها از ۰/۲ تا ۰/۳۵ درصد مقرر داشته است.

اکسیژن O :

اگر در فولاد به صورت آزاد یافت شود (نه به صورت ترکیب با سیلیسیم و آلومینیوم)، تمایل به شکل‌گیری و حفظ سولفیدهای گرد دارد که نیاز اساسی قابلیت ماشینکاری می‌باشد.

آلومینیوم AL :

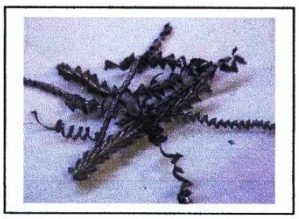
بسیار برای قابلیت ماشینکاری زیان‌آور بوده و می‌بایست در میزان بسیار پایین در فولاد وجود داشته باشد. در غیر این صورت ناخالصی‌های آلومینا شکل می‌گیرد که اثرات زیان‌آور بسیاری برروی طول عمر ابزار خواهند داشت.

عناصر سفت‌شونده :

میزان عناصری مانند نیکل (Ni)، کروم (Cr)، مولیبدن (MO) و غیره می‌بایست محدود شود. مقدار آنها ترجیحاً می‌بایست زیر ۰/۳ درصد باشد.

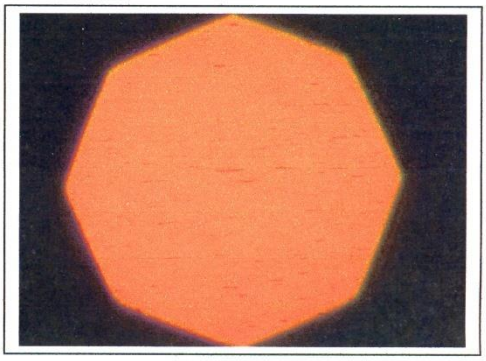
شکل و توزیع سولفیدهای منگنز

شکل سولفیدها رفتار براده‌ها را و در نتیجه قابلیت ماشینکاری را قابل پیش‌بینی می‌سازد.

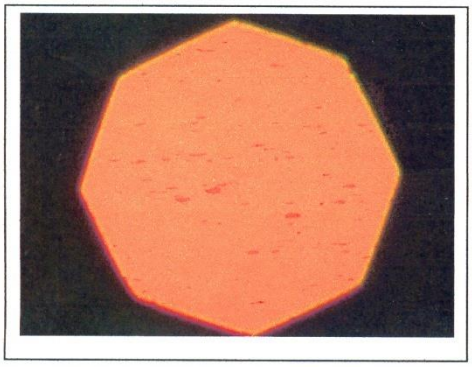


توزیع یکنواخت سولفیدهای گرد (نسبت کم طول به ضخامت) معمولاً برای خرد شدن براده‌ها که نمایانگر عدم پیوستگی در ریز ساختار پایه فولاد است، مطلوب می‌باشد. در غیر این صورت سولفیدهای کوچک و باریک سهم کمی در قابلیت ماشینکاری دارا می‌باشند. عواقب چنین سولفیدهایی ایجاد براده‌های بلند و کاهش طول عمر ابزارتراش می‌باشد.

11SMnpb37
مقطع طولی
سولفیدهای نازک و کشیده
بزرگ نمایی ۱۰۰ ×

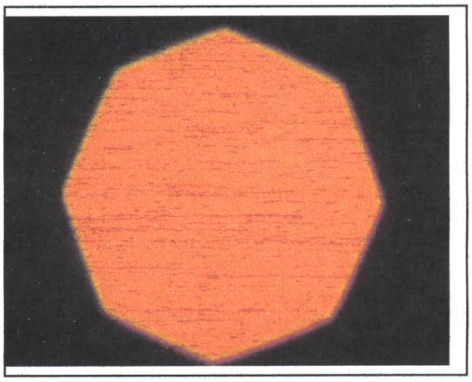


11SMnpb37
مقطع طولی
سولفیدهای گرد
بزرگ نمایی ۱۰۰ ×



وجود رگه‌ها:

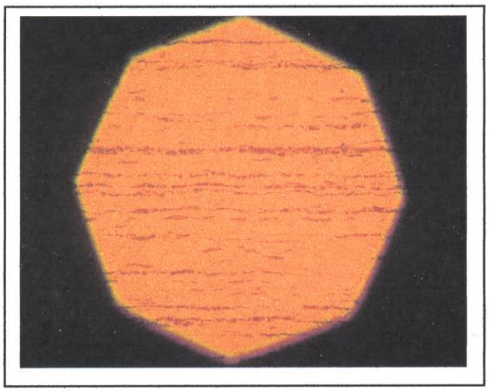
به نظر می‌رسد که رگه‌ها برای خرد کردن براده مفید باشند، بنابراین قابلیت ماشینکاری در دریل‌کاری را بهبود خواهند بخشید در صورتی که اثرات قابل توجهی از خود در تراشکاری نشان نداده‌اند. با این حال نظرات متناقضی در این زمینه وجود دارد. معمولاً وجود هرگونه رگه مضر به نظر می‌رسد.



11SMnpb37

شکل‌گیری مشخص رگه‌ها

رگه‌های ناز و نزدیک ردیف شده



11SMnpb37

ردیف‌های کم و نازک پرلیت

کار سختی کششی و ویژگی‌های مکانیکی:

قابلیت ماشینکاری خوب نه تنها به آنالیز شیمیایی بلکه به سختی و قابلیت شکل‌پذیری ماده نیز مرتبط می‌باشد. (استعداد فلز به شکل‌پذیری و مدل شدن).

سختی کم اغلب مطلوب نبوده و به‌طورکلی به نظر می‌رسد که شکل‌پذیری زیاد، خاصیت ماشینکاری پایینی را به دنبال خواهد داشت.

خاصیت شکل‌پذیری زیاد فولاد را نرم می‌سازد و در اثر عملیات تراشکاری سطح تمیزی به وجود نمی‌آید.

یک کار سختی نسبی حاصل از عملیات کشش هر دو این ویژگی‌ها را بهبود می‌بخشد، سختی را بالا می‌برد و شکل‌پذیری زیاد را تصحیح می‌کند.

گریدهای مفتول‌های فنری

مفتول‌های فنری در رده فولادهای پرکربن قرار دارند که از حدود ۰/٦ تا ۰/۹ درصد کربن دارند به همین دلیل بسیار مناسب جهت ساخت فنرهای کششی، فشاری، تخت و... می‌باشند که در صنعت مصارف بسیار زیاد دارند. فنرها براساس کاربردی که دارند تحت تأثیر بارهای استاتیکی و دینامیکی مختلفی قرار می‌گیرند که متناسب با این بارها می‌بایست استحکام و مقاومت دلخواه را داشته باشند از این رو لازم است با درجات مختلفی از استحکام تولید شوند.

همانگونه که می‌دانیم میزان کربن موجود در فولادها عامل اصلی تعیین استحکام و سختی فولاد می‌باشد ولی تنها عامل نیست بلکه افزایش عناصر دیگر مثل منگنز و همچنین کاهش عناصر مضر مثل فسفر و گوگرد و همچنین نوع فرآیند تولید فولاد می‌تواند در کیفیت فولاد پرکربن مؤثر باشد. قبلاً در بخش فولادهای ساختمانی **(ST)** شاهد بودیم که چگونه با یک میزان مشخص کربن ولی با فرآیندهای مختلف می‌توان فولاد کیفی از درجه ۱ تا ۳ تولید کرد که هر کدام دارای استحکام نهایی بخصوصی هستند. این پدیده در فولادهای پرکربن نیز صادق است یعنی در فرآیند ذوب با کاهش میزان فسفر و گوگرد و همچنین با افزایش عنصر منگنز که به همین منظور (یعنی کاهش اثرات گوگرد و فسفر) می‌باشد می‌توان با یک میزان ثابت کربن، گریدهای مختلفی مثل **A**، **B**، **C** و **D** از فولاد پرکربن را تولید نمود. بدیهی است که گرید **A** در مفتول‌های پرکربن مثل **ST-1** است و گریدهای **B**، **C** و **D** مانند **ST-2** و **ST-3** و... دارای کیفیت بهتر می‌باشند یکی از پارامترهای کیفی در فولادها و بخصوص فولاد پرکربن میزان قابلیت شکل‌پذیری می‌باشد یعنی هر چه فولاد کیفی‌تر باشد شکل‌پذیری آن بیشتر است یا به عبارتی در صنعت کشش این معنی را می‌دهد که فولاد کیفی بیشتر کشیده می‌شود و هر چه مفتول بیشتر کشیده شود و دچار برش و شکستگی نشود می‌توان به درجات بالاتر از استحکام در مفتول دست یافت امروزه براساس استاندارد **EN10270-1** گریدهای مفتول‌های فنر (پرکربن) با کدهای **SL**، **SM**، **SH** و **DM** مشخص می‌گردند که در زیر به معنای این کدها خواهیم پرداخت. همانگونه که قبلاً توضیح داده شد فنرها تحت بارهای استاتیکی **(S)** یا ثابت و یا بارهای دینامیکی

(D) یا متحرک قرار می‌گیرند که خود این بارها شامل کم (L) ، متوسط (M) و یا زیاد (H) می‌باشند در نتیجه:

SL یعنی بار استاتیکی کم	معادل گرید A
SM یعنی بار استاتیکی متوسط	معادل گرید B
SH یعنی بار استاتیکی زیاد	معادل گرید C
DM و DH یعنی بار دینامیکی متوسط و زیاد	معادل گرید D

در این قسمت به آنالیز شیمیایی گریدهای مختلف مفتول‌های فنر خواهیم پرداخت.

گرید	%C	%Si	%Mn	%P	%S
A	۰/۴ـ۰/۸۵	۰/۳۵	۰/۳ـ۱	۰/۰۵	۰/۰۵
B	۰/۴ـ۰/۸۵	۰/۳۵	۰/۳ـ۱	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵
C	۰/۷ـ۱	۰/۳۵	۰/۳ـ۱/۵	۰/۰۴	۰/۰۴
D	۰/۷ـ۱	۰/۳۵	۰/۳ـ۱/۵	۰/۰۳	۰/۰۳

همانگونه که در جدول بالا مشاهده می‌کنید با تغییر چند صدم درصد در آنالیز شیمیایی، گرید فولادهای فنری تغییر می‌کنند.

در پایان جدول زیر نشان دهنده استحکام نهایی مفتول‌های کشیده شده از گریدهای مختلف مفتول‌های فنری می‌باشد.

Mechanical properties for spring wire grades A,B,C and D DIN 17223

Diameter mm	Tensile strength wire grades N/mm2				Permissible deviations as specified in DIN 2076 for wire grades	
	A	B	C	D	A and B mm	C and D mm
1.00	1720 to 1970	1980 to 2220		2230 to 2470	± 0.025	± 0.015
1.05	1710 to 1950	1960 to 2200		2210 to 2450		
1.10	1690 to 1940	1950 to 2190		2200 to 2430		
1.20	1670 to 1910	1920 to 2160		2170 to 2400		
1.25	1660 to 1900	1910 to 2140		2150 to 2380		
1.30	1640 to 1890	1900 to 2130		2140 to 2370		
1.40	1620 to 1860	1870 to 2100		2110 to 2340		
1.50	1600 to 1840	1850 to 2080		2090 to 2310	± 0.035	± 0.020
1.60	1590 to 1820	1830 to 2050		2060 to 2290		
1.70	1570 to 1800	1810 to 2030		2040 to 2260		
1.80	1550 to 1780	1790 to 2010		2020 to 2240		
1.90	1540 to 1760	1770 to 1990		2000 to 2220		
2.00	1520 to 1750	1760 to 1970	1980 to 2200	1980 to 2200		
2.10	1510 to 1730	1740 to 1960	1970 to 2180	1970 to 2180		
2.25	1490 to 1710	1720 to 1930	1940 to 2150	1940 to 2150		
2.40	1470 to 1690	1700 to 1910	1920 to 2130	1920 to 2130		
2.50	1460 to 1680	1690 to 1890	1900 to 2110	1900 to 2110		
2.60	1450 to 1660	1670 to 1880	1890 to 2100	1890 to 2100		
2.80	1420 to 1640	1650 to 1850	1860 to 2070	1860 to 2070		
3.00	1410 to 1620	1630 to 1830	1840 to 2040	1840 to 2040		
3.20	1390 to 1600	1610 to 1810	1820 to 2020	1820 to 2020		
3.40	1370 to 1580	1590 to 1780	1790 to 1990	1790 to 1990	± 0.045	± 0.025
3.60	1350 to 1560	1570 to 1760	1770 to 1970	1770 to 1970		
3.80	1340 to 1540	1550 to 1740	1750 to 1950	1750 to 1950		
4.00	1320 to 1520	1530 to 1730	1740 to 1930	1740 to 1930		
4.25	1310 to 1500	1510 to 1700	1710 to 1900	1710 to 1900		
4.50	1290 to 1490	1500 to 1680	1690 to 1880	1690 to 1880		
4.75	1270 to 1470	1480 to 1670	1680 to 1860	1680 to 1860		
5.00	1260 to 1450	1460 to 1650	1660 to 1840	1660 to 1840		
5.30	1240 to 1430	1440 to 1630	1640 to 1820	1640 to 1820		
5.60	1230 to 1420	1430 to 1610	1620 to 1800	1620 to 1800		
6.00	1210 to 1390	1400 to 1580	1590 to 1770	1590 to 1770	± 0.060	± 0.035
6.30	1190 to 1380	1390 to 1560	1570 to 1750	1570 to 1750		

Diameter mm	Tensile strength wire grades N/mm2				Permissible deviations as specified in DIN 2076 for wire grades	
	A	B	C	D	A and B mm	C and D mm
6.50	1180 to 1370	1380 to 1550	1560 to 1740	1560 to 1740	± 0.060	± 0.035
7.00	1160 to 1340	1350 to 1530	1540 to 1710	1540 to 1710		
7.50	1140 to 1320	1330 to 1500	1510 to 1680	1510 to 1680		
8.00	1120 to 1300	1310 to 1480	1490 to 1660	1490 to 1660		
8.50	1110 to 1280	1290 to 1460	1470 to 1630	1470 to 1630		
9.00	1090 to 1260	1270 to 1440	1450 to 1610	1450 to 1610		
9.50	1070 to 1250	1260 to 1420	1430 to 1590	1430 to 1590	± 0.070	± 0.050
10.00	1060 to 1230	1240 to 1400	1410 to 1570	1410 to 1570		
10.50		1220 to 1380	1390 to 1550	1390 to 1550	± 0.090	± 0.070
11.00		1210 to 1370	1380 to 1530	1380 to 1530		

گریدهای مختلف پیچ

پیچ‌ها اساساً به منظور اتصال دو قطعه و محکم کردن آنها بر یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدیهی است نیروی لازم (گشتاور) جهت بستن پیچ‌ها در قطعات مختلف یکسان نمی‌باشد. مثلاً نیروی لازم برای بستن پیچ‌ها در لوازم خانگی با پیچ چرخ خودرو بسیار متفاوت می‌باشد و این تفاوت بیانگر این مطلب است که پیچ‌ها همگی در معرض نیروی یکسان نیستند و در نتیجه می‌توانند دارای استحکام متفاوت و متناسب با کاربرد آنها تولید شوند. برای تولید پیچ‌هایی که برای بستن آنها نیروی کمتری لازم است و به عبارتی گل‌پیچ (آچارخور) آنها در معرض ضربه و برش نیستند از فولادهای معمولی کم‌کربن استفاده می‌شود که اصطلاحاً پیچ‌های آهنی نامیده می‌شوند و همچنین پیچ‌هایی که در معرض نیروهای بزرگتر هستند می‌بایست دارای استحکام نهایی بیشتری باشند و لازمه این کار تولید اینگونه پیچ‌ها با مواداولیه‌ای می‌باشد که بعداز عملیات پیچ‌سازی بتوان آنها را مستحکم نمود (آبکاری) و این کار میسر نمی‌باشد مگر استفاده از فولادهای آلیاژی. فولادهای آلیاژی هر کدام متناسب با میزان کربن و یا عناصر دیگر و یا فرآیندهای تولید می‌توانند درجات مختلفی از استحکام و سختی را بعد از عملیات سختکاری از خود نشان دهند که در گریدهای مختلف قرار می‌گیرند.

کلاً گریدهای مختلف پیچ با اعداد **4.8 -5.6 -6.8 -8.8 -10.9 -12.9** دسته‌بندی می‌شوند که معنای این اعداد مطابق **DIN 267** به شرح زیر می‌باشد.

عدد سمت چپ ممیز معادل یک هزارم تنش نهایی پیچ **(FU)** و عدد سمت راست ممیز نسبت تنش تسلیم **(FY)** به تنش نهایی است.

یعنی در پیچ **8.8** خواهیم داشت:

تنش نهایی **(FU) = 8×1000 = 8000 kg/cm²**

و عدد سمت راست ممیز که ۰/۸ می‌باشد یعنی نسبت تنش تسلیم به تنش نهایی یعنی:

FY÷FU = 0/8 → FY÷ 8000 = 0/8 →FY (تنش تسلیم) **= 0/8 × 8000 = 6400 kg/cm²**

و در پیچ 10.9 این اعداد به ترتیب ۱۰/۰۰۰ و ۹۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشند. برای طراحی و محاسبه پیچ‌ها، تنش تسلیم پیچ مهمترین فاکتور می‌باشد و در عمل پیچ‌ها با مهره‌های رده مقاومت مساوی یا یک رده پایین‌تر جفت می‌شوند مثلاً پیچ 8.8 با مهره ۸ یا ٦ ، پیچ 10.9 با مهره ۱۰ یا ۸ و پیچ 12.9 با مهره ۱۲ یا ۱۰.

در پایان، جدول ضمیمه آنالیز شیمیایی و خواص مکانیکی گریدهای مختلف پیچ را نشان می‌دهد.

ردیف	آلیاژ	آنالیز شیمیایی مفتول های پیچ								مشخصات مکانیکی مفتول های C.H.Q پیچ							مشخصات پیچ	
		%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%B	%Mo	دانه بندی آستنیتی	شرایط مفتول	دو پهنی مجاز	تلرانس مجاز	مقاومت کششی MPA	درصد کاهش سطح مقطع	دکربورگی	پوشش سطح	گرید	سختی HRB
1	AISI 1006ALK	max 0.08	max 0.1	0.25-0.4	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	کشش سرد	0.015	+0 -0.03-0.04	max 510	60	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	4.8	71
2	AISI 1008ALK	max 0.1	max 0.1	0.3-0.5	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	کشش سرد	0.015	+0 -0.03-0.04	max 510	60	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	4.8 5.6	71 79
3	AISI 1010ALK	0.08-0.13	max 0.10	0.3-0.6	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	کشش سرد	0.015	+0 -0.03-0.04	max 520	60	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	4.8 5.6 6.8	71 79 90
4	AISI 1006ALK	max 0.08	max 0.1	0.15-0.4	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 420	62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	4.8	71
5	AISI 1008ALK	max 0.01	max 0.1	0.3-0.5	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 427	62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	4.8 5.6	71 79
6	AISI 1010ALK	0.08-0.13	max 0.10	0.3-0.6	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 434	62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	5.6 6.8	79 90
7	AISI 10B21ALK	0.18-0.23	max 0.10	0.7-1.0	max 0.03	max 0.035	•	min 0.0005	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 510	62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	8.8	22-32 HRC
8	AISI 10B33	0.32-0.36	0.15-0.35	0.70-1.00	max 0.03	max 0.035	•	min 0.0005	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 520	56	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	10.9	32-39 HRC
9	AISI 10B38SIK	0.35-0.42	0.1-0.3	0.7-1.0	max 0.02	max 0.02	•	min 0.0005	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 540	54	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	10.9	32-39 HRC
10	AISI 1038SIK	0.35-0.42	0.1-0.3	0.7-1.0	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 540	54	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	10.9	32-39 HRC
11	JISI SCM435	0.33-0.38	0.15-0.35	0.60-0.85	max 0.03	max 0.03	0.9-1.2	•	0.15-0.30	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 550	60	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	10.9	22-39 HRC
12	AISI 1018ALK	0.15-0.19	max 0.1	0.65-0.85	max 0.02	max 0.02	•	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 475	62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	8.8	22-39 HRC
13	19mnB4	0.17-0.24	max 0.4	0.8-1.15	max 0.035	max 0.035	•	0.0008-0.005	•	دانه ریز	کشش سرد آنیل شدهSAIP	0.015	+0 -0.03-0.04	max690 max510	50 62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	8.8	22-39 HRC
14	QST36-3	0.06-0.13	max 0.1	0.25-0.45	max 0.04	max 0.04	•	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 440	62	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	6.8	90 HRC
15	34Cr4	0.30-0.37	max 0.40	0.6-0.9	0.04	0.04	0.90-1.20	•	•	دانه ریز	SAIP آنیل شده	0.015	+0 -0.03-0.04	max 600	30	مجاز نمی باشد	فسفات 5-8g/m²	12.9	39-44 HRC

کربن معادل (Equivalent Carbon)

کربن معادل، رابطه‌ای است بین عناصر تشکیل‌دهنده فولاد که یکی از کاربردهای آن تخمین عـدد سختی و میزان جوش‌پذیری فولاد و عملیات پیش گرم در جوشکاری می‌باشد. در کـربن معـادل نقش هر عنصر در ایجاد خواص متفاوت درجه بندی می‌شود.

به عنوان مثال: به منگنز درجه ۱ به ٦ نسبت به کربن تعلق می‌گیرد. زیرا برآورد می‌شـود افـزایش ٪٦ منگنز اثری مشابه ٪۱ کربن دارد.

روابط زیادی برای تعیین کربن معادل تعریف شده است که رایج‌ترین آنها رابطه زیر می‌باشد:

$$\mathbf{CE} = \%\mathbf{C} + \frac{\%\mathbf{Mn} + \%\mathbf{Si}}{\mathbf{6}} + \frac{\%\mathbf{Cr} + \%\mathbf{Mo} + \%\mathbf{V}}{\mathbf{5}} + \frac{\%\mathbf{Ni} + \mathbf{Cu}}{\mathbf{15}} + \frac{\%\mathbf{P} + \%\mathbf{S}}{\mathbf{3}}$$

در مواردی که تمامی عناصر تشکیل‌دهنده فولاد مشخص نیستند از رابطه زیر برای تعیین کربن معادل استفاده می‌شود.

$$\mathbf{CE} = \%\mathbf{C} + \frac{\%\mathbf{Mn}}{\mathbf{6}} + \mathbf{0/05}$$

این فرمول برای فولادهایی با آلیاژ زیر صادق می‌باشد:

C	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
٪۰/۵۰تا	٪۱/۶ تا	٪۱ تا	٪ ۳/۵ تا	٪۰/۶ تا	٪۱تا

برای تخمین عدد سختی با استفاده از کربن معادل از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$\mathbf{HV} = ۱۲۰۰\ \mathbf{CE}-۲۰۰ \rightarrow$ اگر کربن معادل کمتر از ۰/٤٥ باشد.

رابطه کربن معادل با جوش پذیری به صورت زیر می‌باشد:

CE	جوش پذیری
تا ۰/۳۵	عالی
بین۰/۳۶ تا ۰/۴۰	خیلی خوب
بین ۰/۴۱ تا ۰/۴۵	خوب
بین ۰/۴۶ تا ۰/۵	معمولی
بالای ۰/۵	ضعیف