



جلسه چهارم
فولاد بر اساس استاندارد آمریکایی
AISI / SAE



- دو نوع استاندارد حاکم بر فولاد وجود دارد.

- ۱- استاندارد AISI / SAE

American Iron and Steel Institute / Society of Automotive Engineers

- ۲- استاندارد آلمان DIN استاندارد DIN آلمان: Deutsches Institut für Normung



استاندارد آمریکایی AISI / SAE

- سه دسته نامگذاری داریم
- ۱- فولادهای ساده کربنی و کم آلیاژ
 - ۲- فولادهای ابزار
 - ۳- فولادهای زنگ نزن



فولاد های ساده کربنی و کم آلیاژ

این سیستم نامگذاری از چهار رقم برای مشخص کردن فولادهای کربنی و کم آلیاژ بر اساس ترکیب شیمیایی بهره می برد. بر اساس این سیستم، دو رقم آخر نشان دهنده میزان کربن برحسب صدم درصد است. رقم اول از سمت چپ مشخص کننده طبقه ای است که فولاد به آن تعلق دارد و مطابق است با:



- ۱ XXX فولاد کربنی
- ۲ XXX فولاد نیکل
- ۳ XXX فولاد نیکل - کروم
- ۴ XXX فولاد مولیبدن
- ۵ XXX فولاد کروم
- ۶ XXX فولاد کروم - وانادیوم
- ۷ XXX فولاد تنگستن
- ۸ XXX فولاد نیکل - کروم - مولیبدن
- ۹ XXX فولاد سیلیسیم - منگنز



در فولاد کربنی

- اگر عدد دوم ۰ باشد به معنای اینکه نوع فرآیند تولید فولاد به روش زیمنس مارتین است.
- اگر عدد دوم ۱ باشد به معنای اینکه تصفیه فولاد طوری انجام گرفته است که گوگرد آن زیاد و فسفر آن کم است.
- اگر عدد دوم ۲ باشد به معنای اینکه تصفیه فولاد طوری انجام گرفته است که گوگرد و فسفر آن هر دو زیاد است.
- اگر عدد دوم ۳ باشد به معنای اینکه تصفیه فولاد طوری انجام گرفته است که مقداری منگنز دارد.

مثال:

فولاد ۱۰۲۰ فولاد کربنی است که توسط کوره زیمنس مارتین تولید شده و حدود ۰,۲٪ کربن دارد.
فولاد ۱۱۳۵ فولاد کربنی است که گوگرد آن زیاد و فسفر آن کم و در حدود ۰,۳۵٪ کربن دارد.



فولادهای ابزار

فولادهای ابزار: جهت نامگذاری این گروه از یک حرف و یک عدد مشخص استفاده می‌گردد. این حرف پیشوند وضعیت فولاد ابزار را از نظر روش سرد کردن، کاربرد و ویژگی‌های خاص آن نشان می‌دهد. عددی که در این کنار این حرف می‌آید، گروه‌های خاص آنرا نشان می‌دهد.

- ❑ W (**Water Hardening**): W1, W2, W5
- ❑ O (**Oil Hardening**): O1, O2, O6, O7
- ❑ A (**Air Hardening**): A2, A4, A7
- ❑ D (**High Carbon, High Chromium**): D2, D3, D4
- ❑ S (**Shock Resistance**): S1, S2, S4
- ❑ P (**Mould Steel**): P6, P20, P21
- ❑ H (**Hot Work**): H10, H13, H19
- ❑ M, T (**High Speed Tool Steel**): M1, M2, T1, T15



شماره ردیف بوده و واجد معنای خاصی نیست

| نماد شناسایی | گروه |
|--------------|---|
| W | فولادهای ابزارى سخت شونده با آب (Water-Hardening) |
| S | فولادهای ابزارى مقاوم به شوک و ضربه (Shock Resistant) |
| O | فولادهای ابزارى کارسرد سختکاری شونده با روغن (Oil-Hardening) |
| A | فولادهای ابزارى کارسرد، آلیاژ-متوسط، سختکاری شونده در هوا (Air-hardening) |
| D | فولادهای ابزارى کارسرد، کروم-بالا، پرکربن |
| P | فولادهای ساخت قالب |
| H | فولادهای ابزارى کار گرم (Hot-Work)، کروم، تنگستن و مولیبدن |
| T | فولادهای ابزارى تندبر تنگستنى (Tungsten) |
| M | فولادهای ابزارى تندبر مولیبدنى (Molybdenum) |



فولاد های ابزارى سخت شونده با آب (W)

- اين فولادها توسط آب سختكارى مى شوند و به همين دليل فولادهای ابزارى سختكارى شونده با آب نام گذارى شده اند.
- فولادهای گرید- W در حقيقت فولادهای كرن-بالای ساده هستند. اين گروه از فولادهای ابزارى به دليل قيمت پايين تر آنها نسبت به ساير فولادهای ابزارى پركاربردترين فولادهای ابزارى هستند.
- اين فولادها برای كاربردهایی كه دمای بالا وجود ندارد بسيار مناسب است. در دماهای بالای ۱۵۰ درجه سلسيوس اين فولادها خاصيت سختى خود را به شدت از دست مى دهند.



فولاد های ابزارى سخت شونده با روغن (O)

- فولادهای ابزارى کار-سرد، سختکاری شونده در روغن با هدف تولید فولادهایی با مقاومت به سایش بسیار بالا در شرایط کار در حالت سرد توسعه داده شدند.
- به دلیل وجود درصد بالای کربن و عناصر آلیاژی، قابلیت سختکاری تا عمق زیادى از قطعه، توسط کوئنچ کردن در روغن وجود دارد.
- این فولاد حاوی درصد بسیار بالایی از کربن و درصد زیادى عناصر آلیاژی است که باعث بهبود تشکیل گرافیت می شود، و این امر سبب افزایش قابلیت ماشینکاری و عمر آن می شود.



فولادهای ابزارى سخت شونده با هوا (A)

- فولادهای ابزارى آلیاژ متوسط
- در شرایط کار در حالت سرد مقاومت به سایش بالایی دارند.
- گریدهای مختلف این فولادها، به دلیل دامنه مختلفی از درصد کربن و عناصر آلیاژی، ترکیبهای مختلفی از چقرمگی و سختی ارائه می دهند.
- . . .
- فولادهای ابزارى سختکاری شونده در هوا با ویژگی «تغییر شکل و دفورمه شدن کم» خود در طول فرایند خنک کاری شناخته می شوند. قابلیت ماشینکاری آنها معمولاً خوب بوده و توازن خوبی بین استحکام و مقاومت به سایش در آنها برقرار است.



گروه کربن بالا، کروم بالا: سری D

- فولادهای ابزارى کار سرد، کربن-بالا، کروم-بالا مقاومت بسیار بالایی در برابر سایش و خوردگی دارند.
- فولادهای ابزارى کلاس کار سرد شونده سری D، حاوی ۱۰ تا ۱۳ درصد عنصر کروم است. این فولادها معمولاً سختی خود را تا ۴۲۵ درجه سلسیوس حفظ می‌کنند.
- از کاربردهای متداول این گروه می‌توان به قالب‌های فورجینگ و قالب‌های ساخت قطعه به روش کشش (**drawing**) اشاره کرد



فولاد ابزار کار گرم (H)

- این فولادها به سه دسته تقسیم می شوند:
 - فولادهای ابزار کار گرم کرومی
 - فولادهای ابزار کار گرم تنگستنی
 - فولادهای ابزار کار گرم مولیبدنی



فولادهای ابزار کار گرم کرومی

- باید مقاومت به بارگذاری ضربه ای در حالت گرم فوق العاده بالا، مقاومت به نرم شدن در هنگام قرار گرفتن در معرض گرما بالایی داشته باشند.
- این مجموعه الزامات طاقت فرسا، که در فورجینگ و بسیاری از فرایندهای کار در حالت گرم و ریخته‌گری تحت فشار کاملاً متداول است.
- درصد کربن متوسط، و غلظت‌های نسبتاً بالای کروم



فولادهای ابزار کار گرم تنگستنی

- مقاومت به نرم شدگی در دمای بالای بسیار بیشتری نسبت به فولادهای ابزار کار گرم کرومی دارند.
- این مقاومت به نرم شدگی از طریق افزودن مقادیر قابل توجهی از تنگستن به فولاد ایجاد می گردد.
- این فولاد علاوه بر تنگستن کروم، تعداد زیادی عناصر کاربید ساز دارد که این کاربیدهای اضافی باعث کاهش چقرمگی می شود



فولادهای ابزار کار گرم مولیبدنی

- می توانند مقاومت به نرم شدگی مشابهی با فولادهای ابزار کار-گرم تنگستنی ایجاد کنند.
- به همین دلیل بسته به قیمت یا دسترسی به هر کدام، می توانند جایگزین هم شوند.



P فولادهای ابزارى نوع

- فولادهای قالب تزریق پلاستیک هستند.
- این فولادها نسبت به سایر فولادهای ابزارى درصد کربن کمتری دارند، تا امکان ماشینکاری وجود داشته باشد.
- سپس این فولادها کربن دهی و سختکاری می‌شوند تا سختی سطحی و مقاومت به سایش مورد نیاز ایجاد گردد.



فولاد های مقاوم ضربه (S)

- فولادهای ابزارى مقاوم به شوک یا ضربه با هدف ساخت فولادهایی با چقرمگی و مقاومت به شکست بالا در کنار داشتن استحکام و مقاومت به سایش بالا برای کاربردهای بارگذاری ضربه ای ساخته شده‌اند.
- چقرمگی بالا با نگر داشتن درصد کربن در سطح متوسط حاصل می‌شود.
- افزایش زیاد مقاومت به ضربه و سختی توسط آلیاژی کردن فولاد با عنصرهای کروم-تنگستن، سیلیکون-مولیبدن، سیلیکون-منگنز انجام می‌شود.
- فولادهای ابزارى مقاوم به شوک (سری S) طوری طراحی می‌شوند که هم در دماهای بالا و هم در دماهای پایین نسبت به ضربه ناگهانی مقاوم باشند.



فولاد های ابزار تندبر (HSS)

- فولاد تندبر High-speed steel که در اصطلاح و به اختصار HSS خوانده می شود، زیر مجموعه ای از فولادهای ابزاری است که معمولاً جهت ساخت ابزارهای برشی از آن استفاده می شود.
- کاربرد اصلی فولادهای تندبر ساخت ابزارهای برشی مانند: مته ها، قلاویز، تیغه های اره و ... است
- این فولادها به دو دسته تقسیم می شوند:
 - فولادهای تندبر تنگستنی
 - فولادهای تندبر مولیبدنی



- در صورتی که در فولادهای تندبر از ۱۸ درصد تنگستن استفاده شود به آن فولادهای تندبر پایه تنگستن گفته میشود و اگر ۱۸ درصد مولیبدن اضافه شود به آن فولاد تندبر پایه مولیبدن می گویند.
- فولاد های تندبر با دارا بودن سختی میانگین ۶۰ تا ۷۰ راکول در گروه سخت ترین فولاد های آلیاژی جای می گیرند
- این فولادها کارایی بالایی دارند و میتوانند در دماهای بالای ۵۰۰ درجه سانتیگراد سختی خود را حفظ کرده و در برابر سایش مقاومت کنند
- فولادهای تندبر پایه تنگستن کاربرد بیشتری دارند لیکن از لحاظ قیمت، فولادهای تندبر پایه مولیبدن ارزان تر هستند.
- نقطه ذوب فولادهای مولیبدنی کمی پایین تر از فولادهای تنگستنی است بنابراین در دماهای کمتر برای ابزارهای برشی از فولاد مولیبدنی استفاده می شود.
-



فولادهای زنگ نزن

- برای نامگذاری فولادهای زنگ نزن کار شده در AISI/SAE از یک سیستم ۳ کاراکتری (XXX) استفاده می شود.
- کاراکتر اول از سمت چپ (کاراکتر قرمز) توسط AISI/SAE تعریف شده و به برخی از فولادهای زنگ نزن یک عدد مطابق با جدول زیر تخصیص داده شده است. اساس این نامگذاری بر مبنای ساختار فازی فولادهای زنگ نزن است.
- همان طور که در جدول اسلاید بعد مشاهده می فرمایید، عدد ۲ و ۳ نشانگر ساختار آستنیتی و عدد ۴ نشانگر ساختارهای فریتی و مارتنزیتی است. عدد ۶ نیز اختصاص به فولادهای زنگ نزن سختی رسوبی دارد. دو کاراکتر بعدی شماره ردیف بوده و واجد معنای خاصی نیست.



جداول فولاد زنگ نزن

| مثال | نوع فولاد زنگ نزن | سری فولاد زنگ نزن در AISI/SAE |
|--|--|----------------------------------|
| ۲۰۱، ۲۰۲ و ۲۰۵ | فولادهای زنگ نزن آستنیتی کروم - منگنز - نیکل دار Austenitic Stainless Cr-Mn-Ni Steels | ۲XX |
| ۳۰۴، ۳۱۰، ۳۱۶، ۳۰۴L، ۳۱۶L و ۳۲۱ | فولادهای زنگ نزن آستنیتی کروم - نیکل دار Austenitic Stainless Cr-Ni Steels | ۳XX |
| فریتی مثل ۴۰۳، ۴۳۰ و ۴۴۶ مارتنزیتی مثل ۴۱۰، ۴۲۰ و ۴۴۰ | فولادهای زنگ نزن فریتی و مارتنزیتی Ferritic & Martensitic Stainless Steels | ۴XX |
| ۶۳۰، ۶۳۱ و ۶۳۲ | فولادهای زنگ نزن سختی رسوبی Precipitation-Hardening Stainless Steels | ۶XX |



فولاد های زنگ نزن آستنیتی سری ۲۰۰۰

- نزدیک به ۵۰ سال است که تلاش‌هایی برای جایگزینی نیکل موجود در فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی با منگنز صورت می‌گیرد. هدف این است که نوسانات قیمت نیکل بر روی قیمت نهایی فولاد زنگ‌نزن از میان برده شود. نتیجه این تلاش‌ها فولادهای زنگ‌نزن سری ۲۰۰ بوده‌است.
- این سری از فولادها دارای نیتروژن اضافی هستند تا فاز آستنیتی را پایدارتر کرده و بتوان خواص استحکام بالای مورد نیاز برخی کاربردها را تأمین کرد.
- استفاده از نیتروژن باعث شده که استحکام تسلیم سری ۲۰۰ نسبت به سری ۳۰۰ نزدیک به ۵۰٪ بیشتر باشد اما از طرفی به دلیل میزان نیکل کمتر مقاومت به خوردگی بالایی ندارند.
- از مس نیز برای افزایش پایداری فاز آستنیتی و همچنین افزایش خواص کارسرد در این سری فولادها استفاده می‌گردد



فولادهای زنگ نزن آستنیتی سری ۳۰۰۰

- فولادهای زنگ نزن سری ۳۰۰ فولادهای آلیاژ کروم-نیکل هستند، که تقریباً همه ریزساختار آستنیتی آن به دلیل وجود نیکل می باشد.
- معروف ترین گرید آن فولاد زنگ نزن ۳۰۴ است که با نام فولاد ۱۸/۸ یا ۱۸/۱۰ نیز شناخته می شود که در آن ۱۸٪ کروم و ۸ یا ۱۰٪ نیکل استفاده می شود.
- به طور کلی فولادهای ضد زنگ آستنیتی غیرمغناطیسی هستند و با استفاده از عملیات حرارتی سخت نمی شوند.
- می توان با عملیات کار سرد یا **cold working** به میزان قابل توجهی سختی یا استحکام آن ها را بالا برد.
- فولاد ضد زنگ آستنیتی بیشترین قابلیت جوشکاری را در میان انواع دیگر فولاد ضد زنگ دارند.
- از جمله کاربردهای این نوع از فولاد زنگ نزن می توان به موارد زیر اشاره کرد:
 - دیگ بخار، صنعت هوانوردی، قطعات الکترونیکی، تجهیزات راه آهن، مخازن شیمیایی، سیستم های گرمایشی، تجهیزات کوره، مبدل های حرارتی، لوله، اجاق گاز، سینک ظرف شویی، سقف ساختمان و در و پنجره، و ...



فولاد های زنگ نزن مارتنزیتی سری ۴۰۰۰

- این نوع گروهی از آلیاژهای ضد زنگ است که آلیاژ سه گانه‌ای از آهن، کروم و کربن است و ساخته شده تا در برابر خوردگی و عملیات حرارتی مقاوم باشد.
- تمام گریدهای مارتنزیتی، بدون نیکل هستند. به عبارت دیگر در این نوع از فولاد ضدزنگ نیکل وجود ندارد و عملیات سخت گردانی به صورت حرارتی انجام می‌شود.
- میزان کروم موجود در این فولاد می‌تواند از ۱۱ تا ۱۸ درصد باشد و همچنین مقدار یک درصد نیز کربن دارد.
- استحکام، سختی و مقاومت در برابر خستگی در این نوع از استنلس استیل بالا است. از نظر انعطاف پذیری در سطح خوبی قرار دارد، ولی در برابر خوردگی مقاومت متوسطی را داراست.
- به طور کلی نسبت به سایر انواع فولادهای ضد زنگ، از مقاومت کمتری در برابر خوردگی برخوردارند، مغناطیسی بوده و از قابلیت جوش پائینی برخوردارند.
- معمولاً برای ساخت شیرآلات، فنرها، قاشق و چنگال از فولاد ضد زنگ مارتنزیتی استفاده می‌کنند.



فولادهای زنگ نزن فریتی سری ۴۰۰۰

- به طور کلی فولادهای فریتی مقدار کروم بالاتری نسبت به فولادهای مارتنزیتی دارد و به طور نرمال درصد کروم آن بین ۱۱ تا ۳۰ درصد وزنی است.
- ساختار کریستالی این نوع فولاد BCC است و این فولادها مغناطیسی است.
- این فولادها عموماً در کاربردهای مورد استفاده قرار می‌گیرند که نیاز به مقاومت به خوردگی بالایی دارد.
- فولادهای ضد زنگ فریتی از مقاومت حرارتی و خوردگی خوبی برخوردار هستند اما به طور خاص و ویژه‌ای از مقاومت بالایی در برابر کلراید برخوردار است.
- خواص مکانیکی آن نسبت به فولادهای ضدزنگ مارتنزیتی پایین‌تر است.
- از جمله کاربرد این نوع از فولادهای ضد زنگ عبارتند از: **اگزوز خودرو، ظروف پخت و پز و لوازم خانگی**



فولاد های زنگ نزن سختی رسوبی سری ۶۰۰۰

- فولاد زنگ نزن سختی رسوبی علاوه بر کروم و نیکل، به میزانی مس، تیتانیوم و مولیبدن نیز در خود دارد. این نوع از فولادهای ضد زنگ انعطاف پذیری بالایی داشته و در برابر خوردگی نیز مقاوم هستند؛ همچنین از استحکام بالایی در دماهای بالا برخوردارند.
-
- از جمله کاربردهای این نوع از استنلس استیل می توان به استفاده از آنها در قطعات فضایی و هواپیما اشاره نمود



فولاد داپلکس-نوع خاصی فولاد

- ترکیبی از فولادهای ضد زنگ فریت و آستنیتی می باشد؛ به عبارت دیگر دارای ریزساختاری است که از تقریباً ۵۰ درصد **Ferritic** و ۵۰ درصد **Austenitic** تشکیل شده است.
- **مقاومت بالایی در برابر ترک‌های ناشی از خوردگی تنشی SCC دارند.**
- در مقایسه با فولادهای آستنیتی استحکام و مقاومت بیشتری به تمام اشکال خوردگی دارند.
- این نوع فولادها مغناطیسی بوده اما نه به اندازه فولاد زنگ نزن فریتی
- قابل جوشکاری هستند و شکل‌پذیری متوسطی هم دارند.
- **از موارد استفاده این نوع از فولاد زنگ نزن می‌توان به قطعات مبدل حرارتی و کارگاه‌های عملیات آبی اشاره کرد.**



انواع فولاد داپلکس

| Type | Cr % | Ni % | Mo % | N ₂ % | PRE No |
|--------------|-------|-------|---------|------------------|--------|
| Lean | 20-24 | 1-5 | 0.1-0.3 | 0.1-0.22 | 24-25 |
| Standard | 21-23 | 4.5-6 | 2.5-3.5 | 0.1-0.22 | 33-35 |
| Super duplex | 24-29 | 4.5-8 | 2.7-4.5 | 0.1-0.35 | >40 |
| Hyper duplex | 27 | 6.5 | 5 | 0.4 | 49 |

$$\text{PREN} = \text{Pitting Resistance Equivalent Number} = 5\text{Cr} + 3.3(\% \text{Mo} + 0.5\% \text{W}) + 16\% \text{N}$$

هر چه از بالا به پایین میرویم قابلیت جوشکاری و مقاومت به خوردگی بهتر می شود.

