

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com





KEY TO STEEL

Materials Selection

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسين مواد

مفاهیم اولیه

- فولاد: آلیاژی است از آهن و کربن که ۴ عنصر Si, Mn, S, P را به عنوان عنصر همراه با خود دارد.
- عنصر همراه: عنصری است که از پروسه ی تولید یا سنگ معدن وارد آلیاژ شده و ورود آن اختیاری نیست. عنصر همراه می تواند نقش مفید یا مضر داشته باشد.
- عنصر آلیاژی: عنصری است که برای بهبود بخشیدن خواص آلیاژ به آن اضافه می شود. مانند Cr, Ni
- ناخالصی (impurity): عنصر همراهی است که نقش تخریبی دارد.
- آخال (inclusion): ترکیبی است از عناصر غیر فلزی و فلزی، مانند اکسید آهن.
- توجه: آخال ترکیب است و نه عنصر لذا با میکروسکوپ قابل شناسایی است، اما ناخالصی ها در مذاب به صورت محلول وجود دارند.

مفاهیم اولیه

- چرا عناصر فوق را از فولاد به طور کامل حذف نمی کنند؟
 - I. هزینه ی فوق العاده بالا،
 - II. اثرات مفید برخی عناصر همراه. برای مثال عنصر وانادیم باعث ریزدانگی و افزایش چقرمگی فولاد می شود.
- مقادیر عناصر همراه:
 - $\text{Si \& Mn} \leq 0.5\%$
 - $\text{S \& P} \leq 0.05\%$
- بیشتر از این مقادیر به معنای آلیاژی بودن عنصر است.

معروف ترین استانداردهای موجود برای فولادها

➤ آمریکا:

مبنای دسته بندی در ایالات متحده، علمی (ترکیب شیمیایی) است.



Scientific Base

➤ آلمان:

مبنای دسته بندی فولادها در آلمان، صنعتی (کاربردی) است.



Application Base

- USA:

- I. AISI, ASAE

- II. ASTM

- III. ASME

- Germany:

- DIN

AISI

استاندارد AISI فولاد ها را به ۴ دسته تقسیم می کند.

۱- فولاد های ساده کربنی (plain carbon steel)
این دسته خود شامل ۴ زیر گروه است.

الف) فولاد های کم کربن (low carbon):

$$C\% \leq 0.1$$

به دلیل وجود ساختار فریتی، انعطاف پذیری بالا اما استحکام کمی دارند.

ب) فولاد های نرم (mild steel):

$$0.1 \leq C\% \leq 0.3$$

به این فولادها، فولاد های ساختمانی نیز می گویند. به دلیل وجود کمی سمانتیت، استحکام بالاتری دارند اما انعطاف پذیری آن ها کم تر است. کاربرد ساختمانی دارند، مانند میل گرد، تیر آهن و ...

ج) فولاد با کربن متوسط (medium carbon):

$$0.3 \leq C\% \leq 0.6$$

برای ایجاد ساختار مارتنزیتی مناسب، مینیمم درصد کربن 0.3% است. پس این دسته از فولادها در جایی استفاده می شوند که اصطلاحاً حمالی بار (load bearing) نیاز باشد، مانند انواع شفت، میل لنگ یا میل گاردان. اصطلاح load bearing برای قطعات انتقال دهنده ی نیرو استفاده می شود، لذا استحکام تسلیم در این شرایط می بایست بالا باشد.

د) فولاد با کربن بالا (high carbon):

$$C\% \geq 0.6$$

با افزایش درصد کربن سختی و مقاومت به سایش (wear resistance) بالاتر می رود. برخی از کاربردها: اره، مقار یا کاتر

۲- فولادهای میکرو آلیاژی (microalloyed steels)

$$V+Ti+Mo+Nb \leq 1\%$$

۳- فولادهای کم آلیاژی (low alloyed steels)

$$\Sigma \text{ alloying elements} \leq 5\%$$

Alloying elements: Cr, Ni, Mo, W, Mn, Si, Ti, V

فولادهای کم آلیاژی معمولاً جایی به کار می روند که استحکام و تافنس بالا مورد نیاز باشد.

۴- فولادهای پر آلیاژی (high alloyed steels)
 $5\% \leq \Sigma \text{ alloying elements} \leq 50\%$

در جایی استفاده می شوند که:

I. مقاومت به سایش بالا نیاز است ← کلاس فولادهای
ابزاری

II. مقاومت به خوردگی بالا نیاز است ← کلاس فولادهای
زنگ نزن

کد گذاری فولادها براساس استاندارد AISI (SAE)

- کد هر فولاد از یک عدد ۴ (گاهی ۵ رقمی) رقمی تشکیل شده است.
- دو رقم اول شماره استاندارد، نوع فولاد را مشخص می کند. این ارقام بر اساس عناصر آلیاژی که بیشترین درصد را دارد، تعیین می شود.
- دو رقم آخر نیز مقدار میانگین کربن را به صدم درصد بیان می کنند.
- توجه: فولادهای پرآلیاژی مانند فولادهای زنگ نزن و فولادهای نسوز، از این سیستم نامگذاری پیروی نمی کنند.

کد گذاری فولادها براساس استاندارد AISI (SAE)

ملاحظات	AISI (SAE)	نوع فولاد
Mn 1.00% max.	10..	فولاد های کربنی
گوگردی	11..	فولادهای غیر آلیاژی
گوگردی و فسفوری	12..	فولادهای خوش تراش
Max. Mn \geq 1.00-1.65 %	15..	فولادهای خوش تراش
Mn 1.75	13..	فولادهای غیر آلیاژی
		فولادهای منگنز
Ni 3.5	23..	فولاد های نیکل
Ni 5.0	25..	
Ni 1.25, Cr 0.65-0.8	31..	فولاهای نیکل - کروم
Ni 1.75, Cr 1.07	32..	
Ni 3.5, Cr 1.5	33..	
Ni 3.0, Cr 0.77	34..	

www.iran-mavad.com

AISI (SAE)	نوع فولاد
40.. 44..	فولادهای مولیبدن
41..	فولادهای کروم- مولیبدن
43.. 43BV.. 47.. 81.. 86.. 87.. 88.. 93.. 94.. 97.. 98..	فولادهای نیکل - کروم - مولیبدن

www.iran-mavad.com

AISI (SAE)	نوع فولاد
46.. 48..	فولادهای نیکل - مولیبدن
50.. 51.. 501.. 511.. 521..	فولادهای کروم
61..	فولادهای کروم - وانادیم
71.. 72..	فولادهای تنگستن - کروم
92..	فولادهای سیلیسیم - منگنز
9..	فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا
302.. (AISI 2.. 303.. (AISI 3.. 514.. (AISI 4.. 515.. (AISI 5..)	فولادهای زنگ نزن کروم - منگنز - نیکل کروم - نیکل کروم

کد گذاری فولادها براساس استاندارد DIN

- کد گذاری فولادها طبق استاندارد DIN به دو صورت انجام می شود:
۱- حروف شیمیایی

C Ni Mn

۲- کد ساده

X.XXXX

- یک رقم قبل از ممیز و ۴ رقم بعد
• عدد قبل از ممیز

- 0 → چدن
- 1 → فولاد
- 2 → آلیاژهای غیر آهنی سنگین تر از فولاد
- 3 → آلیاژهای غیر آهنی سبک تر از فولاد

کد گذاری فولادها براساس استاندارد DIN

■ انواع فولاد از نگاه متخصصان آلمانی دو دسته است:

1-Structure

- General تحت بارگذاری استاتیکی متوسط
- Fine grain تحت بارگذاری دینامیکی یا استاتیکی سنگین

2-Construction (industrial)

کد گذاری بر مبنای ترکیب شیمیایی

۱- فولادهای ساده کربنی

I. C XX	max. P,S 0.045%
II. Ck XX	P, S \geq 0.35%
III. Cf XX	P, S \leq 0.35% & fine grain
IV. Cm XX	0.02% \leq P, S \leq 0.04%
V. Cq XX	extra fine grain

کد گذاری بر مبنای ترکیب شیمیایی

۲- فولاد های کم آلیاژی

XX ABC xxx

عناصر آلیاژی

درصد عناصر آلیاژی به ترتیب اهمیت

درصد کربن

34 CrMo4

۳- فولادهای پر آلیاژی

X xx ABC xxx

نشان دهنده ی پر آلیاژی بودن فولاد است

X15 Cr Ni Mo 188

کلید فولاد

- نویسنده ی کتاب کلید فولاد، بر مبنای استانداردهای معرفی شده فولادها را در ۱۳ گروه تقسیم بندی کرده است.
- هر گروه در قالب چندین بخش معرفی می شود:
 - (1) نام و ترکیب شیمیایی
 - (2) خواص مکانیکی
 - (3) شرایط عملیات حرارتی
 - (4) کاربردها
- برخی از گروه ها دارای زیر گروه هایی نیز هستند.

تعریف مهم

- فولاد بهسازی: عملیات حرارتی
- فولاد کیفی: $\max. P, S 0.045$
- فولاد نجیب: $\max. P, S 0.035$
- بازپخت: آنیل کردن
- بازپخت نرم: کروی کردن (G)
- بازپخت نرمال: دمای آستنیت که برای نرماله مناسب است.
- برگشت: تمپر
- فولاد کشته شده (R)
- فولاد کشته نشده (U)
- فولاد نیم کشته شده (H)

گروه ۱، فولادهای سماتته

- چون این گروه از فولادها صنعتی هستند (و نه ساختمانی)، به صورت تمام کشته شده می باشند.
- این فولادها برای ساخت چرخ دنده ها به وفور مورد استفاده قرار می گیرند
- گروه 1a
 - این فولادها برای عملیات نیتروراسیون مناسبند.
 - نیتروراسیون مقاومت در برابر اصطکاک را پایین می آورد.
 - یکی از مهم ترین کاربردهای این گروه لوله های پرتابی است.
 - چون در عملیات کربوراسیون تفرانس قطعه به هم می خورد، در قالب سازی با تفرانس بسته برای افزایش مقاومت به سایش از نیتروراسیون استفاده می شود.

گروه ۱، فولادهای سماتته

■ گروه 1b

- این گروه به فولادهای خوش تراش یا automate مرسوم اند.
- بالا بودن درصد S و تشکیل فاز MnS در این فولادها موجب می شود تا در هنگام ماشین کاری عمل براده برداری به راحتی صورت گیرد.
- در فولاد خوش تراش اهمیت عنصر Mn بیشتر از S است. زیرا اگر Mn کم باشد S به طور کامل از فولاد حذف نخواهد شد.
- ریزدانه بودن فولاد نیز می تواند در بهبود قابلیت ماشین کاری آن مؤثر باشد.

گروه ۲، فولادهای بهسازی

- تقریباً تمام فولادها کربن متوسط هستند.

$$0.3 \leq C\% \leq 0.6$$

- استحکام بالا و تافنس مناسب.
- چون درصد کربن بیشتر از 0.3 است قابلیت کوئنچ شدن و تشکیل مارتنزیت دارند.
- می توانند به صورت ساده کربنی و کم آلیاژی باشند.

گروه ۲، فولادهای بهسازی

- گروه ۲a، فولادهای بلبرینگ
- نقش بلبرینگ کاهش اصطکاک است. پس این گونه قطعات تحت سایش هستند.
- مقاومت به سایش بالا ← سختی $C\% \geq 1$
 - می توانند کربنی ساده باشند (بلبرینگ های کوچک)
 - در جایی که سایش شدید است (بلبرینگ های بزرگ) کروم و مولیبدن هم اضافه می شود.
- معروف ترین آلیاژ بلبرینگ (1.3505) Cr 6 100 است.

گروه ۳، فولادهای فنر

- این فولادها یا ساده کربنی و یا کروم-وانادیم دار هستند.
- گروه 3a، فولادهای سخت کاری سطحی
- تفاوت با گروه سمانته
- فولادهای سخت کاری سطحی همگی کربن متوسط هستند.
- تفاوت با گروه بهسازی:
- $P\% \leq 0.025$

گروه ۳

گروه 3b، فولادهای اکستروژن سرد

- عبارت اکستروژن سرد نماد تغییر فرم زیاد است.
- پس در این جا منظور تغییر فرم است و نه عملیات اکستروژن!
- تافنس و داکتیلیتی بالا مورد نیاز است. به همین دلیل فولادهای این گروه ریزدانه هستند.
- تفاوت Ck 45 و Cq 45 در ریزدانگی است.
- کاربرد بسیار مهم:

➤ ساخت مخازن یک تکه (مخازن CNG به روش اتوفرتایژ)

گروه ۴

- کاربرد برای دماهای خیلی پایین یا خیلی بالا
- مناسب برای کارهای عسلویه و ماهشهر!!

$$C\% \leq 0.2$$

- این فولادها نیکل زیاد دارند.

در دمای پایین تافنس خوبی دارند.

- درصد C و P کمی دارند.

مناسب برای جوشکاری

گروه های 4a و 4b

- این گروه در دمای بالا به کار می روند.
- این فولادها همگی Cr و Mo دارند و فولادهای کرومولی نامیده می شوند.
- در صنایع پالایش نفت کاربرد دارند.
- برای ساخت مخازن استفاده می شوند.
- نیاز به جوشکاری زیاد ← تماماً کم کربن هستند.
- چون همه ی فولادهای گروه ۴ تحت تنش و اشاعه ی ترک هستند، می بایست H نداشته باشند.

گروه های 4a و 4b

➤ درصد کروم در فولادهای گروه 4a بیشتر از 4b است.

زیرا:

- این گروه برای ساخت مخازن نگهداری فرآورده های هیدروکربنی استفاده می شوند.
- در هنگام استخراج نفت، گوگرد وارد آن می شود و تولید H_2S می کند که می تواند موجب خوردگی شود.
- پس برای جلوگیری از خوردگی این فولادها درصد کروم آن ها بالاست.

گروه ۵، فولادهای ساختمانی ریزدانه

- این گروه به فولادهای میکروآلیاژی نیز موسوم اند.
- P و S کم
- عناصر آلیاژی در حد خیلی کم
- مبنای کد بندی در این گروه استحکام تسلیم است.
- بر روی این فولادها عملیات ترمومکانیکی انجام می شود.
- نقش N در حالت بسیار مهم است.
- گروه 5a، گروه فولادهای مقاوم به آب و هوا
- همگی دارای عنصر Cu هستند.
- گروه 5b قاب ماشین آلات صنعتی است.

www.iran-mavad.com

گروه ۷، فولادهای ابزارگری غیر آلیاژی

- این گروه برای ساخت ابزار برای موادی مانند چوب مناسب است.
- مقاومت در برابر سایش ————— درصد کربن بالا
- چون این گروه ساده کربنی هستند، حداکثر دمای کاری فولاد باید 200°C باشد.
- در دماهای بالاتر ابزار تمپر شده و کند می شود.

گروه 7a، فولادهای تندبر

- این گروه از فولادها برای برش کاری و سوراخ کاری سنگ و فلز به کار می رود.
- نیاز به مقاومت به سایش و تافنس بالا
- فولادهای گروه 7a پرکربن بوده و به دو دسته تقسیم بندی می شوند:

1. Mo base ($\text{Mo}\% \geq 3.0$)

کاربیدهای Mo هم سختی را افزایش می دهند و هم تافنس را.

2. W-V base

W سختی و V تافنس (به دلیل ریزدانه کردن) را بالا می برد.

www.iran-mavad.com

گروه ۸، فولادهای ابزار سرد کار

- عنصر آلیاژی همه ی فولادهای این گروه Cr است.
- اکثراً پرکربن هستند ($C\% \geq 0.6$)
- معروف ترین فولاد این گروه

1.2080 → SPK

- یکی از مهم ترین کاربردهای SPK، ساخت قالب است.
- فولاد فک های دستگاه کشش دانشکده ← SPK
- چون درصد کربن در این فولادها زیاد است، جوش پذیری کمی دارند.
- با استفاده از پیش گرم (preheat) و پس گرم (post heat) می توان عملیات جوشکاری را انجام داد.

گروه ۹، فولادهای ابزار گرم کار

- چون این فولادها به عنوان ابزار در دماهای بالا مورد مصرف قرار می گیرند، می بایست مقاومت به سایش خود را در دمای بالا حفظ کنند.
- فولادهای این گروه بر اساس عنصر آلیاژی مهم به سه دسته تقسیم می شوند:

I. Cr base

II. Mo base

III. W base

- Si در این گروه قابل توجه است.
- Si مقاومت در برابر اکسیداسیون را افزایش می دهد.

گروه ۹، فولادهای ابزارگری گرم کار

- فولادهای گرم کار به صورت کربن متوسط هستند.
- با افزایش دما، سطح دی کربوره می شود.
- برای جلوگیری از تشکیل سمانتیت، کربن را آن قدر اضافه میکنند که برای تشکیل کاربید Cr, Mo, W نیاز است.
- اگر درصد کربن بالا باشد، کاربید آهن تشکیل می شود و در محاسبات مربوط به سختی وارد می شود
- در اثر دی کربوره شدن، استحکام از آنچه که محاسبه شده است پایین تر می آید.
- یکی از کاربرهای مهم فولادهای گروه ۹ قالب های فورج است.

گروه ۱۰

- در کتاب کلید فولاد گروه ۱۰ وجود ندارد.
- زیرا گروه ۱۰ در دیگر کشورها (غیر از آلمان) برای فولادهای ابزاری است.

گروه ۱۱، فولادهای سوپاپ

■ از آنجایی که این فولادها برای ساخت سوپاپ های مختلف به کار می روند، موارد زیر در آن ها بسیار اهمیت دارد:

1. مقاومت به خوردگی Cr

2. مقاومت به اکسیداسیون Si

3. مقاومت به خزش Mo, V, W

4. ضریب انبساط حرارتی (خواص فیزیکی هم ذکر شده است)

■ به دلیل بالا بودن درصد کربن، فولادهای سوپاپ جوشکاری نمی شوند.

■ درصد Mn نیز در این گروه زیاد است.

گروه ۱۲، فولادهای غیر قابل مغناطیسی

- برای غیر قابل مغناطیسی بودن فولاد باید فول آستنیت باشد.
- عناصر Ni و Mn پایدار کننده ی آستنیت هستند.
- کاربرد فولاد نگیر:
- قاب ترانسفورماتور و نیروگاه های تولید برق

گروه 12a، فولادهای نسوز

- فولادهای این گروه در برابر حرارت مقاوم هستند.
- در بازار به نام فولادهای آتش خوار (نسوز) معروف اند.
- همگی دارای درصد زیادی Cr هستند.

- برای افزایش مقاومت به حرارت Ni اضافه می شود.

1. بدون Ni 300-400 °C

2. Ni کم 500-600 °C

3. Ni% ≥ 20 900 °C ≥

- یکی از کاربردهای مهم، ساخت کوره های با اتمسفر محافظ.

گروه 12b، آلیاژهای انتقال گرما

- فولادهای این گروه مقاوم به عبور جریان الکتریسیته هستند.
- وجود عناصر Al و Cr باعث تشکیل فاز میانی شده و ساختار فولاد را پیچیده می کند. در نتیجه رسانایی آن کم تر می شود.
- آلیاژهای یاد شده به نام کرومل - آلومل معروف اند.
- سیم ترومکوپل از این جنس ساخته می شود.

گروه ۱۳، فولادهای زنگ نزن

- چون این فولادها در برابر خوردگی مقاوم اند، عنصر آلیاژی اصلی آن ها Cr است.
- فولادهای گروه ۱۳ را می توان به ۳ دسته تقسیم کرد.
- فولادهای زنگ نزن آستنیتی
 $\text{Ni}\% \geq 8.0$
- فولادهای زنگ نزن فریتی
Ni نباشد و $\text{C}\% \leq 0.2$
- فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی
Ni نباشد و $\text{C}\% \geq 0.2$

گروه ۱۳، فولادهای زنگ نزن

- 18-8 نماد فولادهای زنگ نزن آستنیتی است.
- معروف ترین فولادهای آستنیتی:
 - 18-8 یا 304
 - 18-8 یا 316
 - 18-8 یا 321
 - 18-8 یا 347
- فولادهای بالا برای ساخت مخازن گاز مناسبند.
- جوش پذیری بالایی نیز دارند.

گروه ۱۳، فولادهای زنگ نزن

- در بازار به فولادهای زنگ نزن فریتی، فولاد بگیر هم می گویند.
- مهم ترین فولاد فریتی 409 است.
- فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی معروف:

• 410

• 420

• 430

• 440

- توجه: فولادهای زنگ نزن عموماً با کد امریکایی شناخته می شوند.

گروه ۱۵، مفتول های جوشکاری

- برای آشنایی و انتخاب مناسب فولادهای این گروه به استاندارد AWS مراجعه می شود.