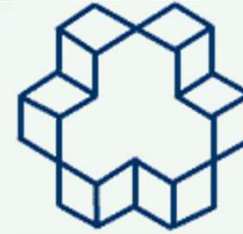




Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد



طراحی و انتخاب مواد مهندسی

جلسه دوازدهم
(فولادهای آلیاژی)

دکتر رضا اسلامی فارسانی



- ✓ فولادهای کربنی که با عنصر یا عناصری آلیاژی می شوند، تحت عنوان فولادهای آلیاژی شناخته می شوند.
- ✓ از یک دیدگاه، فولاد آلیاژی، فولادی است که دارای مقادیر مشخصی از عناصر آلیاژی است و از دیدگاه دیگر، فولادی است که حاوی بیش از ۱/۶۵ درصد منگنز، ۰/۶ درصد مس و ۰/۶ درصد سیلیسیم باشد.
- ✓ مقدار و نوع عناصر آلیاژی، رفتار مهندسی فولادهای آلیاژی را مشخص می کند.

عناصر آلیاژی در فولادها

✓ عناصر آلیاژی موجود در فولادهای آلیاژی به شکل محلول در یک فاز و یا به شکل ترکیب وجود دارند.

✓ عناصری که در سمت راست آهن در جدول تناوبی قرار دارند با آهن تشکیل محلول جامد می دهند و عناصری که در جدول تناوبی در سمت چپ آهن قرار دارند، به صورت محلول جامد و یا سمانتیت در ساختار فولاد وارد می شوند.

✓ عناصر آلیاژی محلول می توانند دمای استحاله های آلوتروپیک را در نمودار آهن کربن جابجا کنند.

عناصر آلیاژی در فولادها

✓ عناصر مختلف، منطقه پایداری فازها را تغییر می دهند. به عنوان نمونه، نیکل و منگنز، منطقه پایداری آستنیت و کروم و سیلیسیم، منطقه پایداری فریت را گسترش می دهند.

✓ عناصر آلیاژی انحلال پذیری کربن در آستنیت را تحت تاثیر قرار می دهند.

✓ عناصری که انحلال پذیری خوبی در حالت جامد در آهن گاما دارند، انحلال پذیری کربن در آستنیت را کاهش می دهند.

عناصر آلیاژی در فولادها

✓ به علت تاثیر عناصر آلیاژی بر انحلال کربن در آهن، نه تنها منطقه پایداری فازها در فولادهای آلیاژی بلکه ترکیب شیمیایی این فازها نیز با فولادهای کربنی متفاوت است.

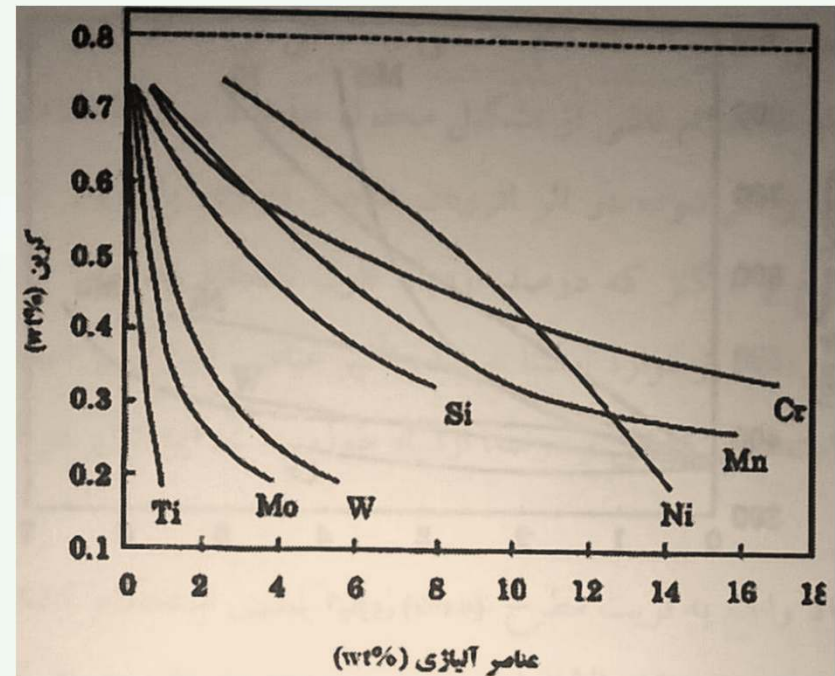
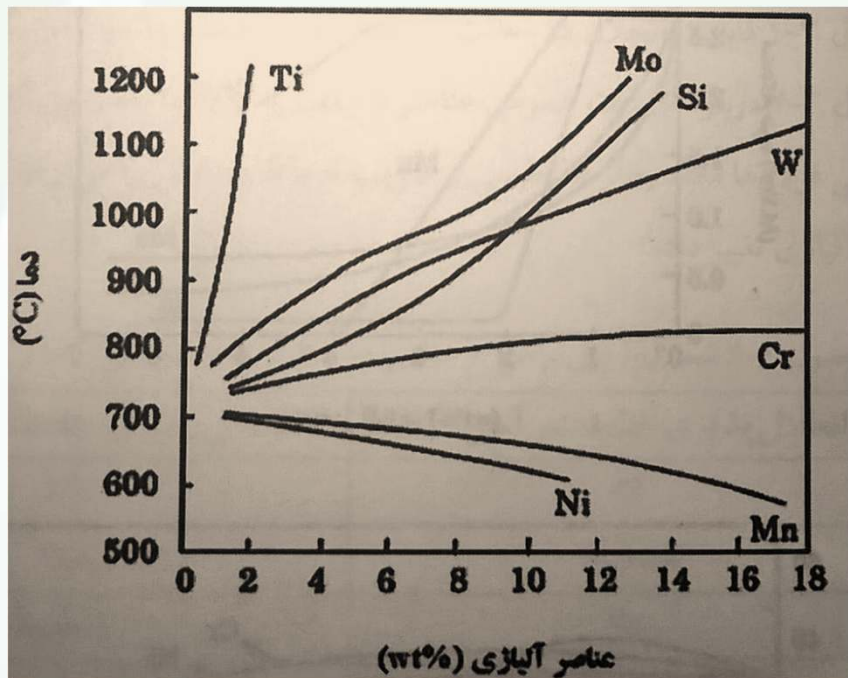
✓ این تغییرات در مناطق پایداری فازها و ترکیب آنها به دلیل تاثیری است که عناصر آلیاژی بر روی کربن یوکتوئید و دمای یوکتوئید در فولادهای آلیاژی می گذارند. همه عناصر مقدار کربن یوکتوئید را کاهش می دهند.

فولادهای آلیاژی



عناصر آلیاژی در فولادها

7

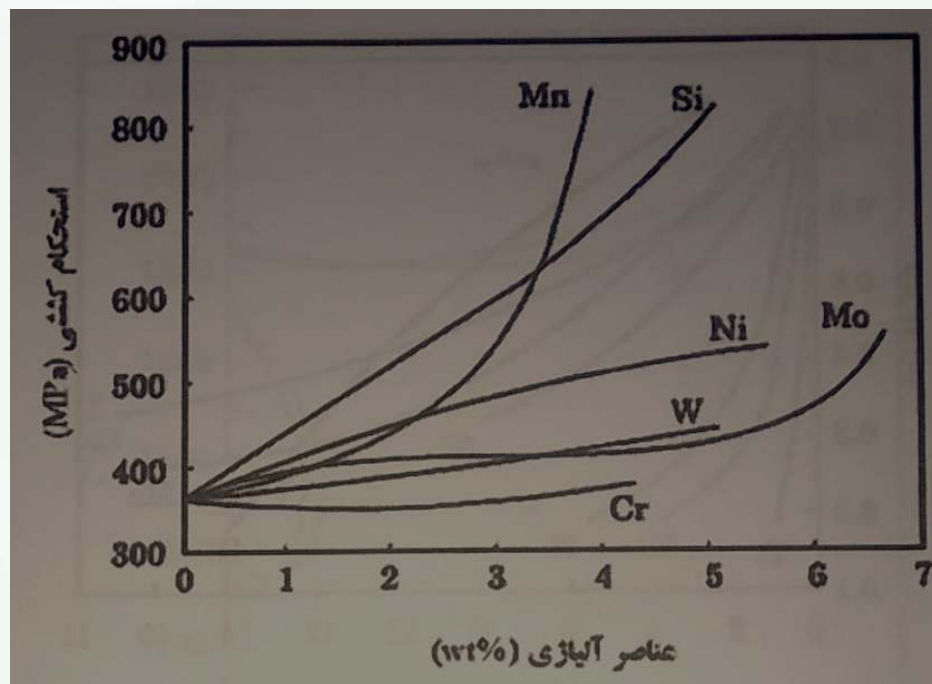


تاثیر عناصر آلیاژی بر کربن و دمای یوتکتوئید

عناصر آلیاژی در فولادها

8

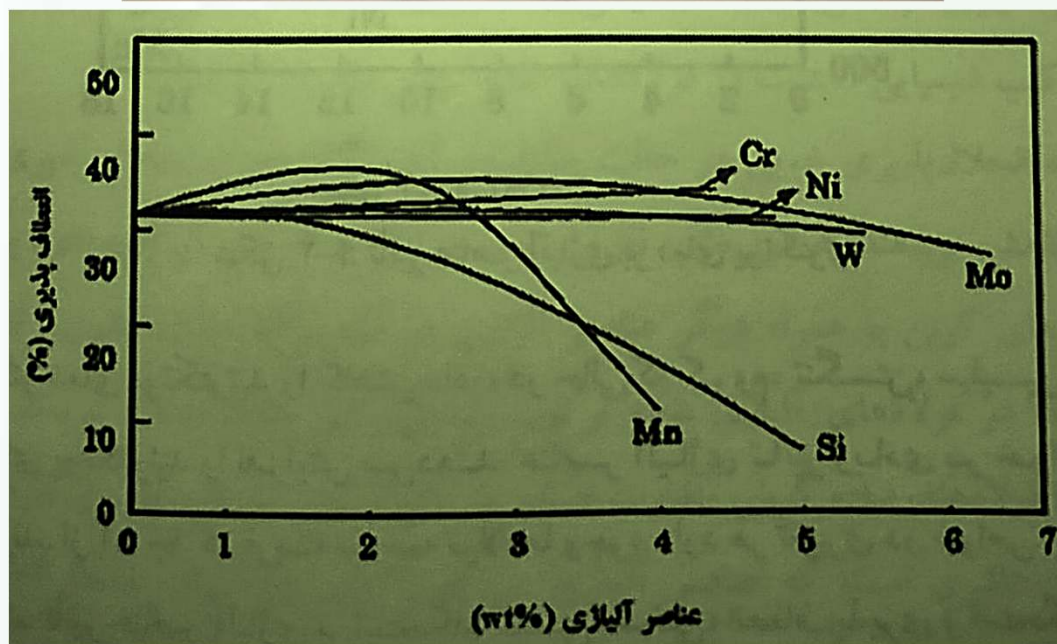
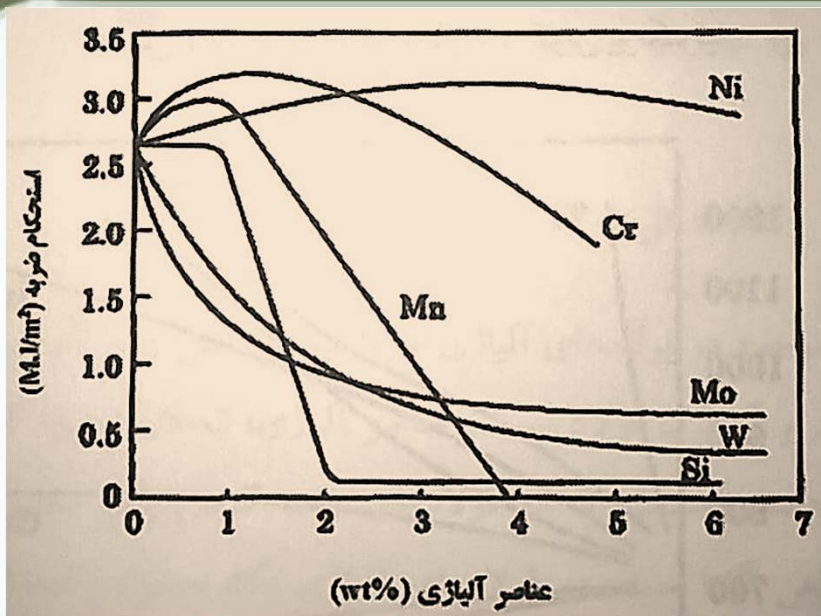
- ✓ عناصر آلیاژی استحکام کششی و سختی آستنیت را هم در دمای اتاق و هم در دمای بالا افزایش می دهند.
- ✓ عناصر آلیاژی همچنین تاثیر زیادی بر خواص فریت دارند. تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص فریت در ذیل نشان داده شده است:



فولادهای آلیاژی



عناصر آلیاژی در فولادها





فولادهای آلیاژی

عناصر آلیاژی در فولادها

✓ در جدول روبرو تاثیر هر یک از عناصر آلیاژی بر فولادها و تولید فولادهای خاص نشان داده شده است:

فولادهای خاص	تأثیر معمول	عنصر آلیاژی
فولاد نیترالوی	اکسیژن زدای قوی، قابل انحلال در فریت، تشکیل دهنده نیتریدها، ریز کردن اندازه دانه‌ها.	آلمینیوم
فولادهای با سختی پذیری بالا	سختی پذیری را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد	بور
فولادهای ساختمانی برای اهداف عمومی، فولاد پاتاقان ساچمه‌ای، فولادهای فنر، فولادهای مغناطیسی سخت، فولادهای زنگ‌نزن	پایدارکننده فریت. تشکیل کاربیدهای سخت و پایدار می‌دهد. استحکام خستگی، استحکام کششی، سختی، مقاومت به سایش و سختی‌پذیری را افزایش می‌دهد. حضور بیش از ۱۲ درصد کروم به صورت محلول در فولاد باعث پیدایش فولاد زنگ‌نزن می‌شود	کروم
فولادهای کار گرم، فولادهای تدبیر، فولادهای دما بالا، فولادهای آهن‌ربای دائمی	رشد دانه را کنترل می‌کند. سختی و استحکام را در دماهای بالا حفظ می‌کند. باعث افزایش پایداری مغناطیسی، نیروی پسماندزدا و هدایت حرارتی می‌شود.	کبالت
بسیاری از فولادهایی که مقاومت بسالایی در برابر خوردگی اتمسفری دارند.	باعث افزایش نسبت استحکام کششی به استحکام تسلیم و نیز نقطه تسلیم می‌شود. اگر از ۰/۳۰ درصد تجاوز کند باعث رسوب سختی می‌شود.	مس
تا ۲ درصد در بیشتر فولادهای آلیاژی، فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی اصلاح شده، فولادهای هدفیلد	پایدارکننده کاربیدهاست. سختی‌پذیری، سختی و استحکام فولاد را افزایش می‌دهد. یک اکسیژن‌زدای متوسط است. تأثیر مضر گوگرد را حذف می‌کند. در مقادیر زیاد باعث پایداری آستنیت می‌شود.	منگنز
یک عنصر آلیاژی مهم در: فولادهای سخت کاری‌شونده، سطحی، فولادهای کار گرم، فولادهای تدبیر، فولادهای مقاوم به خزش و فولادهای زنگ‌نزن	کاربیدزدای قوی، ایجاد استحکام در دمای بالا، افزایش مقاومت در برابر خزش، تردی ناشی از تمپر را کم می‌کند. مقاومت به خوردگی فولادهای کروم‌دار و فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی را افزایش می‌دهد.	مولیبدن





فولادهای آلیاژی

عناصر آلیاژی در فولادها (ادامه جدول)

فولادهای سخت کاری شونده سطحی، فولادهای دماپایین، فولادهای زنگ‌نزن، فولادهای غیر مغناطیسی	پایدارکننده آستیت، به عنوان گرافیت‌زا عمل می‌کند. باعث افزایش سختی پذیری، استحکام ضربه در دمای معمولی و دمای پایین و نیز استحکام در دمای بالا می‌شود. مقاومت در برابر خستگی و خوردگی را بهبود می‌بخشد.	نیکل
فولادهای مقاوم در برابر خزش، فولادهای زنگ‌نزن	تشکیل کاربیدهای پایدار می‌دهد. استحکام در دمای بالا و مقاومت به خزش را افزایش می‌دهد. فولادهای زنگ‌نزن را پایدار می‌کند.	نایوبوم
فولادهای فنر، فولادهای ترانسفورماتور، فولادهای مقاوم در برابر پوسته‌ای شدن	فریت را سخت و پایدار می‌سازد. باعث گرافیت‌زایی می‌شود. اکسیژن‌زدای قوی است. مقاومت در برابر خوردگی و پوسته‌ای شدن را افزایش می‌دهد.	سیلیسیوم
فولادهای مقاوم به خزش، فولادهای زنگ‌نزن و فولادهای آهن‌ربای دائمی	تشکیل کاربیدهای سخت و پایدار می‌دهد. فریت را پایدار می‌سازد. دانه‌ها را ریز می‌کند. استحکام خزشی را افزایش می‌دهد. فولادهای زنگ‌نزن را پایدار می‌سازد.	تیتانیوم
فولادهای مقاوم به سایش، فولادهای کارگرم، فولادهای تندبر، فولادهای مغناطیسی سخت و فولادهای دمابالا	تشکیل کاربید می‌دهد. استحکام و سختی را بالا می‌برد. چقرمگی را پایین می‌آورد. از رشد دانه‌ها جلوگیری می‌کند. از نرم شدن در حین تمپر جلوگیری می‌کند. استحکام و نیز مقاومت به سایش در دمای بالا را افزایش می‌دهد. قدرت برش ابزار را افزایش می‌دهد.	تنگستن
فولادهای مقاوم به سایش، فولادهای کارگرم، فولادهای تندبر، فولادهای دمابالا	تشکیل کاربید و نیتريد می‌دهد. دانه‌ها را ریز می‌کند. فریت را پایدار می‌سازد. قدرت برش، استحکام و سختی را در دماهای بالا افزایش می‌دهد.	وانادیوم



عناصر آلیاژی در فولادها

✓ به طور کلی عناصر آلیاژی مختلف که به فولادها اضافه می شوند به چهار دسته تقسیم می شوند:

- پایدارکننده های فریت: کروم، مولیبدن، تنگستن، سیلیسیم و وانادیم.
- پایدارکننده های آستنیت: نیکل، کبالت، مس، منگنز.
- کاربیدزها: کروم، نایوبی، مولیبدن، تیتانیم، تنگستن و وانادیم.
- گرافیت زها: نیکل، مس، سیلیسیم.

دسته بندی فولادهای آلیاژی

✓ فولادهای آلیاژی را با توجه به پارامترهای مختلف به دسته های مختلفی تقسیم بندی می کنند. برخی از این پارامترها عبارتند از:

- مقدار عناصر آلیاژی
- کاربرد فولاد
- ریزساختار فولاد
- عناصر آلیاژی پایه

فولادهای آلیاژی



دسته بندی فولادهای آلیاژی بر اساس مقدار عناصر آلیاژی موجود در فولاد

✓ فولادهای کم آلیاژ: درصد کل عناصر آلیاژی در حدود ۰.۵٪ است.

✓ فولادهای آلیاژمتوسط: درصد کل عناصر آلیاژی ۱۰-۵ درصد است.

✓ فولادهای پر آلیاژ: درصد کل عناصر آلیاژی پر آلیاژ بیش از ۱۰٪ است.

دسته بندی فولادهای آلیاژی بر اساس کاربرد

- ✓ فولادهای فنر
- ✓ فولادهای یاتاقان
- ✓ فولادهای مقاوم به خوردگی
- ✓ فولادهای مقاوم به خزش
- ✓ فولادهای مقاوم به اکسیداسیون
- ✓ فولادهای قالب
- ✓ فولادهای سرمایه‌ای



دسته بندی فولادهای آلیاژی بر اساس¹⁶ ریزساختار

- ✓ فولادهای فریتی
- ✓ فولادهای پرلیتی
- ✓ فولادهای مارتنزیتی
- ✓ فولادهای بینایتی
- ✓ فولادهای آستنیتی
- ✓ فولادهای فریتی - پرلیتی

دسته بندی فولادهای آلیاژی بر اساس عناصر آلیاژی پایه

- ✓ فولادهای نیکل دار
- ✓ فولادهای کروم دار
- ✓ فولادهای نیکل - کروم دار
- ✓ فولادهای نیکل - کروم - مولیبدن دار
- ✓ فولادهای نیکل - کروم - وانادیم دار

فولادهای ساختمانی

- ✓ فولادهای ساختمانی برخلاف اسمشان تنها در کاربردهای ساختمانی مورد استفاده قرار نمی گیرند، بلکه فولادهایی هستند که به صورت گسترده در ساخت قطعات مهندسی مانند فنر، چرخ دنده، ساچمه آسیاب، صفحه آبگرمکن، پیچ و مهره، یاتاقان، میل لنگ، محور، پیستون، سوپاپ و ... بکار می روند.
- ✓ خانواده فولادهای ساختمانی از تعداد زیادی فولاد تشکیل شده است و بنابراین نمی توان آن ها را تحت یک عنوان و با نام فولادهای ساختمانی توصیف کرد.
- ✓ استحکام، انعطاف پذیری و چقرمگی از جمله خواص مکانیکی هستند که در فولادهای ساختمانی از اهمیت بسیاری برخوردارند.

فولادهای ابزار

✓ فولادهای ابزار، فولادهایی هستند که در ساخت ابزار برش و شکل دهی مورد استفاده قرار می گیرند.

✓ انجمن آهن و فولاد آمریکا (AISI) فولادهای ابزار را به هفت دسته اصلی دسته بندی کرده است که جزئیات آن در جدول پیوست آورده شده است.



فولادهای آلیاژی

فولادهای ابزار-دسته بندی فولادهای ابزار

فولاد ابزار	نماد	عناصر آلیاژی
سخت شونده در آب	W	کروم و وانادیوم
مقاوم به شوک	S	کروم، تنگستن و مولیبدن
کار سرد شده		
سخت شونده در روغن	O	کروم، تنگستن و مولیبدن
سخت شونده در هوا	A	کروم، نیکل، وانادیوم، تنگستن و مولیبدن
با کربن و کروم بالا	D	کروم، وانادیوم، کبالت و مولیبدن
کار گرم شده	H	کروم، وانادیوم، تنگستن، کبالت و مولیبدن
تندبر		
پایه تنگستن	T	کروم، کبالت، وانادیوم و تنگستن
پایه مولیبدن	M	کروم، وانادیوم، تنگستن، کبالت و مولیبدن
قالب	P	کروم، نیکل و مولیبدن
اهداف مخصوص		
کم آلیاژ	L	کروم، نیکل، وانادیوم و مولیبدن
فولادهای کربن-تنگستن	F	تنگستن





فولادهای آلیاژی

فولادهای ماریجینگ

✓ این فولدها، فولادهای پرآلیاژی هستند که دارای حداکثر ۰.۳٪ کربن به عنوان عنصر ناخالصی، حداکثر ۲۵ درصد نیکل، ۱۰-۷ درصد کبالت، ۵-۳ درصد مولیبدن، حداکثر ۱/۷۵ درصد تیتانیم و حداکثر ۰/۲ درصد آلومینیم می باشند.

✓ برخی از انواع فولادهای ماریجینگ دارای مقادیر اندکی برلییم، نایوبیم و تنگستن نیز هستند.

✓ مارتنزیت نرم و چقرمه موجود در این ساختار بر اثر عملیات رسوب سختی مستحکم می شود. در صورتی که فولاد ماریجینگ به طور صحیح عملیات حرارتی شده باشد، شامل ریزساختاری از ذرات کوچک ترکیبات بین فلزی در یک زمینه مارتنزیتی خواهد بود.

فولادهای ماریچینگ

مهمترین ویژگی های فولاد ماریچینگ عبارتند از:

✓ نسبت مناسب استحکام تسلیم به استحکام کششی

✓ قابلیت جوشکاری مناسب

✓ قابلیت شکل پذیری مناسب

✓ چقرمگی شکست عالی

✓ مقاومت به تردی هیدروژنی عالی

فولادهای زنگ نزن

✓ فولادهای زنگ نزن شمار زیادی از فولادهای کروم نیکل دار را شامل می شوند.

✓ این فولادها مقاومت خیلی خوبی در برابر خوردگی دارند. مقاومت به خوردگی عالی این فولادها به خاطر وجود کروم موجود در آنهاست.

✓ ترکیب شیمیایی برخی از فولادهای زنگ نزن رایج مورد استفاده در ادامه آورده شده است.

فولادهای زنگ نزن

ترکیب شیمیایی برخی فولادهای زنگ نزن

دیگر عناصر	P (حداکثر)	S (حداکثر)	Mn (حداکثر)	Si (حداکثر)	Ni	Cr	C (حداکثر)
—	۰/۰۴۵	۰/۰۳	۲/۰۰	۱/۰۰	-۱۰/۵	-۲۰/۰	۰/۰۸
۲/۰-۳/۰ Mo	۰/۰۴۵	۰/۰۳	۲/۰۰	۱/۰۰	-۱۴/۰	-۱۸/۰	۰/۰۳
۰/۱۵ Se	۰/۲۰	۰/۰۶	۲/۰۰	۱/۰۰	-۱۰/۰	-۱۹/۰	۰/۱۵
—	۰/۰۴	۰/۰۳	۲/۰۰	۱/۰۰	-۲/۵۰	-۱۳/۵	۰/۱۵
۰/۱۵ Se	۰/۰۶	۰/۰۶	۱/۲۵	۱/۰۰	—	-۱۴/۰	۰/۱۵
۰/۱۰-۰/۳۰ Al	۰/۰۴	۰/۰۳	۱/۰۰	۱/۰۰	—	-۱۴/۵	۰/۰۸



فولادهای آلیاژی

فولادهای هادفیلد

- ✓ این فولاد تنها فولاد پرمنگنز است که از لحاظ تجاری اهمیت دارد. این فولاد دارای ۱۱-۱۴ درصد منگنز است.
- ✓ چنانچه این فولاد به طور صحیح عملیات حرارتی شده باشد (از دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد در آب کوئنچ شود)، ساختار تشکیل شده در آن، آستنیتی خواهد بود.
- ✓ این فولاد دارای استحکام و چقرمگی بالا و مقاومت به سایش عالی در مقابل تغییر فرم خواهد بود.
- ✓ کاربردهای مهم آن عبارتند از صفحات سنگ شکن فکی، اجزای سنگ شکن ها، تجهیزات لایروبی و زنجیرهای تانک.

فولادهای سوپاپ

✓ فولاد مناسب جهت ساخت سوپاپ ها باید مقاومت بالایی در برابر اکسیداسیون، خوردگی با گازهای گرم و سایش داشته باشد.

ترکیب شیمیایی برخی فولادهای سوپاپ

زمینه	دیگر عناصر	Ni	Cr	Mn	Si	C
مارتنزیتی	—	۰/۵۰ (حداکثر)	۷/۵۰-۹/۵۰	۰/۳۰-۰/۶۰	۳/۰۰-۳/۷۵	۰/۴۰-۰/۵۰
مارتنزیتی	۰/۷-۰/۹ Mo	۰/۵۰ (حداکثر)	۹/۰۰-۱۰/۵۰	۰/۳۰-۰/۶۰	۲/۰۰-۲/۷۵	۰/۳۵-۰/۴۵
مارتنزیتی	—	۱/۰۰-۱/۷۰	۱۹/۰۰-۲۰/۵۰	۰/۲۰-۰/۶۰	۱/۷۵-۲/۲۵	۰/۷۵-۰/۸۵
آستنیتی	۲/۰-۴/۰ W	۱۰/۰۰ (حداقل)	۱۲/۰۰-۱۶/۰۰	۱/۵۰ (حداکثر)	۱/۰۰-۲/۵۰	۰/۳۵-۰/۵۰
آستنیتی*	۲/۰-۳/۰ W	۱۳/۰۰-۱۵/۰۰	۱۳/۰۰-۱۵/۰۰	۰/۵۰-۰/۸۰	۱/۰۰-۲/۰۰	۰/۳۵-۰/۴۵
آستنیتی	۲/۰-۴/۰ W	۶/۰۰-۱۲/۰۰	۱۷/۰۰ (حداقل)	۱/۰۰ (حداکثر)	۱/۰۰-۲/۵۰	۰/۲۰-۰/۴۵

فولادهای دما پایین

- ✓ فولادهایی که قادر به حفظ چقرمگی خود در دماهای پایین هستند برای کاربردهای دما پایین مناسبند.
- ✓ نیکل در کاهش دمای انتقال نرمی به تردی بسیار موثر است و به طور گسترده برای کاربردهای دماهای پایین مورد استفاده قرار می گیرد.
- ✓ فولادهای زنگ نزن آستنیتی نیز به طور وسیع در کاربردهای دما پایین استفاده می شوند.

فولادهای دوفازی

- ✓ فولادهایی دوفازی، فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا هستند که دارای نسبت استحکام به وزن بالایی می باشند.
- ✓ به طور کلی ریز ساختار فولادهایی دوفازی شامل فاز مارتنزیتی سخت و یک زمینه فریتی نرم می باشد.
- ✓ استحکام و انعطاف پذیری این فولادها به ترتیب با تشکیل فازهای مارتنزیت و فریت تامین می شود.
- ✓ رفتار تسلیم پیوسته، استحکام تسلیم کم اما استحکام کششی زیاد و درصد ازدیاد طول زیاد از خواص بارز فولادهایی دوفازی است.

فولادهای دوفازی

✓ رایج ترین روش برای تولید فولادهای دوفازی آن است که ابتدا فولاد را تا منطقه دوفازی حرارت داده و سپس از این دما به سرعت سرد کرده تا آستنیت به مارتنزیت تبدیل شود.

✓ فولادهای هیپویوتکتوئید حاوی مقادیر کمی کربن برای تولید فولادهای دوفازی گزینه مناسبی به شمار می روند.

فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا

✓ فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا که معمولاً با نام های HSLA شناخته می شوند، فولادهایی با ترکیب شیمیایی کنترل شده هستند که می توانند خواص مکانیکی بهتری را ایجاد کنند.

✓ با انجام عملیات مکانیکی می توان خواص مکانیکی مطلوب را در آنها ایجاد کرد.

✓ این فولادها را با عملیات حرارتی نمی توان مستحکم نمود و به طور کلی در حالت پرداخت شده گرم مورد استفاده قرار می گیرند.

فولادهای سخت کاری شونده سطحی

- ✓ این فولادها دارای مقاومت به سایش بالا و چقرمگی مطلوب می باشند.
- ✓ چرخ دنده ها، میل لنگ ها، پین های پیستون، صفحات کلاچ و یاتاقان های غلطکی نمونه ای از این فولادهای می باشند.
- ✓ فرآیند ایجاد سطحی سخت و مقاوم به سایش به همراه ایجاد مغزی چقرمه و نرم را سخت کاری سطحی می نامند.
- ✓ کربن دهی، نیتروژن دهی، سخت کاری با شعله و سخت کاری القایی برخی از فرآیندهای سخت کاری سطحی متداول هستند.
- ✓ فولادهای سخت کاری سطحی فولادهای کم کربن به همراه عناصر کاربیدزا برای بهبود خواص می باشند.

فولادهای آلیاژی



فولادهای سخت کاری شونده سطحی

ترکیب شیمیایی برخی فولادهای سخت شده با شعله و القا

زمینه	دیگر عناصر	Ni	Cr	Mn	Si	C
مارتنزیتی	—	۰/۵۰ (حداکثر)	۷/۵۰-۹/۵۰	۰/۳۰-۰/۶۰	۳/۰۰-۳/۷۵	۰/۴۰-۰/۵۰
مارتنزیتی	۰/۷-۰/۹ Mo	۰/۵۰ (حداکثر)	۹/۰۰-۱۰/۵۰	۰/۳۰-۰/۶۰	۲/۰۰-۲/۷۵	۰/۳۵-۰/۴۵
مارتنزیتی	—	۱/۰۰-۱/۷۰	۱۹/۰۰-۲۰/۵۰	۰/۲۰-۰/۶۰	۱/۷۵-۲/۲۵	۰/۷۵-۰/۱۸۵
آستنیتی	۲/۰-۴/۰ W	۱۰/۰۰ (حداقل)	۱۲/۰۰-۱۶/۰۰	۱/۵۰ (حداکثر)	۱/۰۰-۲/۵۰	۰/۳۵-۰/۵۰
آستنیتی*	۲/۰-۳/۰ W	۱۳/۰۰-۱۵/۰۰	۱۳/۰۰-۱۵/۰۰	۰/۵۰-۰/۸۰	۱/۰۰-۲/۰۰	۰/۳۵-۰/۴۵
آستنیتی	۲/۰-۴/۰ W	۶/۰۰-۱۲/۰۰	۱۷/۰۰ (حداقل)	۱/۰۰ (حداکثر)	۱/۰۰-۲/۵۰	۰/۲۰-۰/۴۵

فولادهای یاتاقان ساچمه ای

✓ فولاد مناسب در ساخت یاتاقان ساچمه ای باید سختی سطح بالا به منظور داشتن مقاومت به سایش و مغز چقرمه برای تحمل شوک های ناگهانی و استحکام خستگی مناسب برای مقاومت در برابر بارگذاری سیکلی داشته باشد.

✓ فولادهای پرکربن - کم کروم به صورت گسترده در ساخت یاتاقان های ساچمه ای مورد استفاده قرار می گیرند.

✓ عملیات حرارتی این فولادها شامل دو مرحله سخت کاری و تمپر است.

✓ حداقل سختی فولادهای کوئنچ تمپر شده نباید کمتر از ۶۲ راکول C باشد.

فولادهای یاتاقان ساچمه ای

ترکیب شیمیایی فولادهای یاتاقان ساچمه ای

عنصر	E-01100	E-01000	E-02100
C	۰/۹۵-۱/۱۰	۰/۹۵-۱/۱۰	۰/۹۵-۱/۱۰
Cr	۰/۹۰-۱/۲۰	۰/۴۰-۰/۷۰	۱/۳۰-۱/۶۰
Si	۰/۲۰-۰/۳۵	۰/۲۰-۰/۳۵	۰/۲۰-۰/۳۵
Mn	۰/۲۵-۰/۴۵	۰/۲۵-۰/۴۵	۰/۲۵-۰/۴۵
S	۰/۰۲۵ (حداکثر)	۰/۰۲۵ (حداکثر)	۰/۰۲۵ (حداکثر)
P	۰/۰۲۵ (حداکثر)	۰/۰۲۵ (حداکثر)	۰/۰۲۵ (حداکثر)

فولادهای فنر

- ✓ فولادهایی که حد الاستیک، چقرمگی و استحکام خستگی بالایی دارند برای ساخت فنرها بسیار مناسبند.
- ✓ در برخی موارد با توجه به شرایط کاری، تعدادی از فولادهای کم آلیاژ در ساخت فنرها مورد استفاده قرار می گیرند.
- ✓ هنگامی که برخی از نیازهای ویژه از اهمیت بیشتری برخوردار هستند از فولادهای پر آلیاژ در ساخت فنرها استفاده می شود. به عنوان مثال در محیط های به شدت خورنده یا در محیط های دما پایین، از فولادهای زنگ نزن یا فولادهای سرمایه پای در ساخت فنر استفاده می شود.



ترکیب شیمیایی فولادهای فنر

دیگر عناصر	Cr	Mn	Si	C
—	۰/۶۰-۰/۹۰	۰/۷۰-۱/۰۰	۰/۱۰-۰/۳۵	۰/۵۵-۰/۶۵
۰/۱۵-۰/۴۰ V	۰/۸۰-۱/۱۰	۰/۶۰-۰/۹۰	۰/۱۰-۰/۳۵	۰/۴۵-۰/۵۵
۰/۴۰-۰/۷۰ Ni	۰/۴۰-۰/۶۰	۰/۷۰-۱/۰۰	۰/۱۰-۰/۳۵	۰/۵۵-۰/۶۵
۰/۱۵-۰/۲۵ Mo	۰/۴۰-۰/۶۰	۰/۷۰-۱/۰۰	۰/۱۰-۰/۳۵	۰/۵۵-۰/۶۵
۰/۲۰-۰/۳۰ Mo	۰/۲۰-۰/۴۰	۰/۷۰-۱/۰۰	۱/۷۰-۲/۱۰	۰/۵۵-۰/۶۵