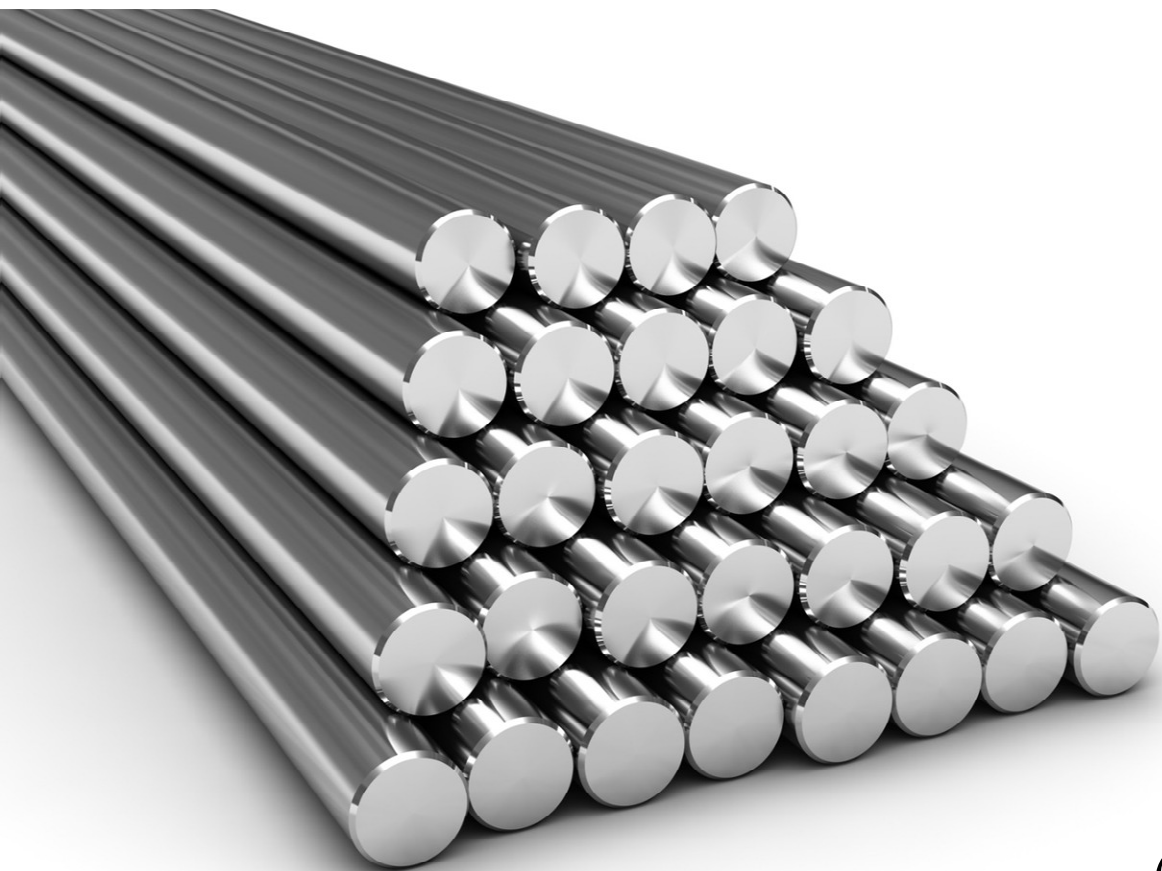




دانشکده مهندسی مکانیک

آشنایی با فلزات صنعتی

علی مالکی

دسته‌بندی

- فلزات به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

فلزات آهنی	فلزات غیر آهنی
آهن	آلومینیوم
فولاد کم کربن	مس
فولاد میان کربن	برنج
فولاد پر کربن	برنز
چدن	روی
فولاد ضد زنگ	سرب
فولاد ابزار	قلع
...	...

فلزات آهنی – چدن و فولاد

- آهن خالص بسیار نرم و انعطاف پذیر (داکتیل) است.
- با اضافه شدن کربن، آلیاژهای زیادی متناسب با کاربردهای مختلف تولید می‌شوند.
- این آلیاژها با نام‌های فولاد و چدن شناخته می‌شوند.
- مقدار کربن میزان سختی فولاد را تعیین می‌کند.
- میزان کربن از کمتر از ۰/۱٪ تا بیش از ۴/۰٪ متغیر است.



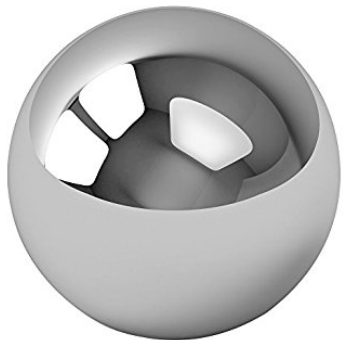
انواع فولاد

- فولاد غیر آلیاژی (کربنی)

- فولاد کم کربن (فولاد نرم) ($<0.3\%$)
- فولاد میان کربن ($0.3-0.6\%$)
- فولاد پر کربن (فولاد ابزار) ($>0.6\%$)

- فولاد آلیاژی (کروم، منگنز، کروم نیکل و ...)

- فولاد کم آلیاژ ($<2.5\%$)
- فولاد آلیاژی متوسط ($<5\%$)
- فولاد ضد زنگ ($>5\%$)



دسته‌بندی فولادها

فولاد کربنی (غیر آلیاژی)	فولاد آلیاژی	
$\leq 1.65\%$	$> 1.8\%$	Mn
$\leq 0.5\%$	$> 0.5\%$	Si
$\leq 0.3\%$	$> 0.5\%$	Cr
$\leq 0.3\%$	$> 0.5\%$	Ni
$\leq 0.05\%$	$> 0.12\%$	Ti
$\leq 0.1\%$	$> 0.12\%$	V

چدن



- دارای 2 تا 4 درصد کربن است.
- به طور کلی سخت و ترد است.
- تحت فشار مقاوم است.
- برای ریخته‌گری مناسب است (نسبتاً در دمای پایینی قابلیت ریخته‌گری دارد).
- برای ساخت بلوک موتور خودرو، اجزای ماشین آلات و ... استفاده می‌شود.
- انواع چدن:

(a) سفید: سخت و ترد، مقاوم در مقابل خوردگی | مثال کاربرد: در برخی غلتک های نورد

(b) خاکستری: مقاوم در برابر فشار، قابل ماشین کاری، میرا (دمپ) کننده ارتعاشات | مثال کاربرد: در بلوک موتور، میل لنگ، درب کوره‌ها، پایه ماشین آلات و ابزارها و...

(c) داکتیل: مقاوم و انعطاف پذیر (نسبت به چدن خاکستری) | مثال کاربرد: اجزای موتور خودرو

(d) چکش خوار (مالیبل): همان چدن سفید است که بر روی آن عملیات حرارتی انجام شده | مناسب برای فورج

فولاد کم کربن

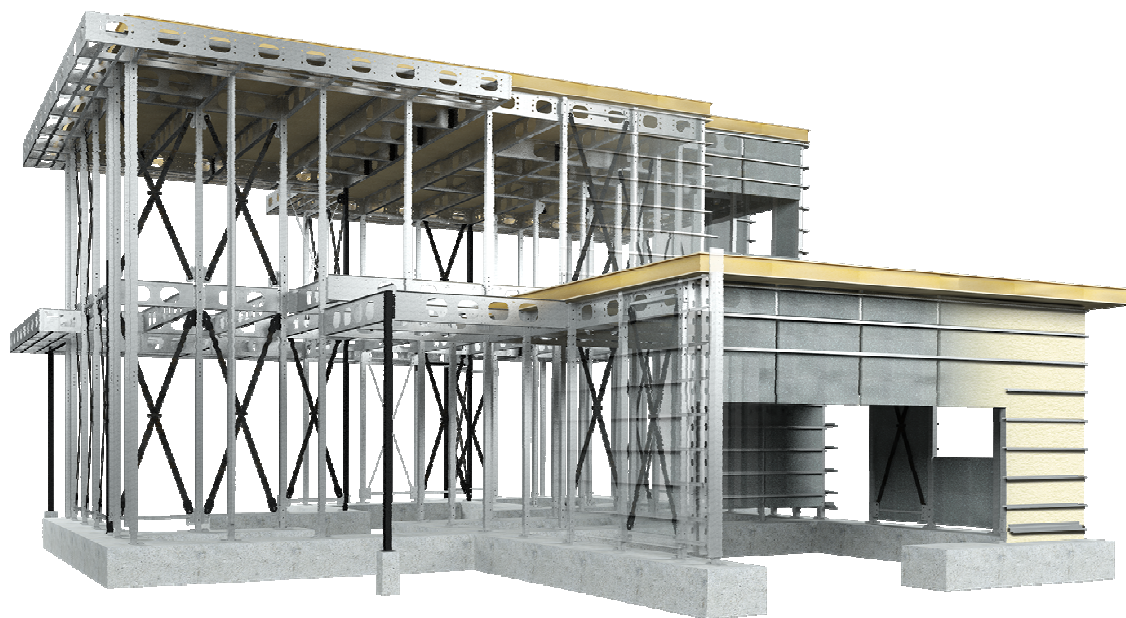


- دارای 0.05 تا 0.3 درصد کربن است.
- چقرمه، نرم و چکش خوار است.
- به راحتی جوشکاری می شود
- مقاومت ضعیف در برابر خوردگی
- ساختار پرلیتی و فریتی دارد.
- اغلب برای مصارف عمومی استفاده می شود.
- برای ساخت پیچ، میخ، بدنه خودرو، ساخت سازه ها و ... استفاده می شود.



فولاد کربن متوسط

- دارای 0.3 تا 0.6 درصد کربن است.
- دارای مقاومت و سختی بیشتر است ولی کمتر داکتیل است در نتیجه چکش خواری کمتری دارد.
- می تواند با فرآیند کوئنچ کردن به مارتنزیت و بینت تبدیل شود.
- مناسب برای سازه ها، ریل قطار، ابزار باغبانی و ...



فولاد پر کربن

- دارای 0.6 تا 1.5 درصد کربن است.
- دارای سختی بیشتر و کمتر داکتیل است، در نتیجه چکش خواری کمتری دارد.
- می‌تواند با فرآیند کوئنچ کردن به مارتنزیت تبدیل شود ولی احتمال ترک خوردن و شکست بالا می‌رود.
- مناسب برای ساخت انواع ابزارهای دستی مانند چکش، اره و...



فولاد آلیاژی

- عناصر دیگر (علاوه بر کربن) می توانند به آهن برای بهبود خواص مکانیکی، تولید و یا خواص محیطی افزوده شوند.
- عناصر اضافه شده به فولاد می توانند در آهن حل شوند که باعث افزایش استحکام، سختی پذیری، چقرمگی، خزش، مقاومت در برابر دما می شوند.
- فولادهای آلیاژی به فولادهای کم آلیاژ، آلیاژ متوسط و پر آلیاژ تقسیم می شوند.
- فولاد پر آلیاژ می تواند در گروه های فولادهای ضد زنگ باشد.
- بیشتر آلیاژهای فولادی که استفاده می شود، در رده کم آلیاژ قرار می گیرند.

انواع فولاد آلیاژی



- عناصر آلیاژی رایج:
 - کروم، نیکل، مولیبدن، وانادیوم، تنگستن، کبالت، بور و مس
- فولادهای کم آلیاژ (مجموع عناصر آلیاژی 2.5% و کمتر)
 - فولاد سازه
 - فولادهای شکل دهی سرد
 - فولاد فنر ($C = 0.5...0.7\%$, $Si = 1...2\%$)
 - فولاد بلبرینگ ($C \approx 1\%$, $Cr = 0.5...0.6\%$)
- فولاد آلیاژ متوسط (2.5 - 5%)
 - فولادهای سمانتاسیون
 - فولادهای کوئنچ و تمپر
 - فولاد نیتراسیون
- فولاد پر آلیاژ (5% و بیشتر) – فولاد با خواص ویژه
 - فولاد مقاوم در برابر خوردگی
 - فولادهای مقاوم در برابر حرارت بالا
 - فولاد مقاوم در برابر سایش

فولادهای کم آلیاژ

فولاد مناسب برای سازه

$C \leq 0.22\%$; 1...2% Si, Mn

Low alloy carbon steels

- دمای تبدیل شکست نرم به ترد پایین
چقرمگی و انرژی ضربه بالا
- قابلیت جوشکاری

$$CE\% = C\% + Mn\%/6 + (Cr\% + Mo\% + V\%)/5 + (Ni\% + Cu\%)/15$$

جوش پذیری خوب - $CE \leq 0,40\%$

نیاز به آماده سازی (پیشگرم و آنیل) - $CE \geq 0,40\%$

فولادهای آلیاژ متوسط

فولاد کوئنچ و تمپر

- دارا بودن اطمینان بالا
- سختی پذیری بالا
- قابلیت آلیاژ شدن (باعث بالا رفتن سختی پذیری می شود)

فولاد نیتراسیون

- $T_{\text{nitr}} 500...600^{\circ}\text{C}$
- All. elem. $\text{Cr, Mo, Al} + \text{N} \rightarrow \text{CrN, MoN, AlN}$
- مقاومت در برابر خستگی بالا

فولادهای پر آلیاژ

Cr-steels

C – min (0.08...0.2%) و 0.1...0.4% برای سختی پذیری

Cr = 13, 17 or 27%

- $C \uparrow \leftarrow$ مقاومت در برابر خوردگی $\downarrow$ ، $C < 0.1\%$ $\leftarrow$ فولاد فریتی
- برای سختی / مقاومت در برابر سایش $\leftarrow C < 0.1\%$ – فولاد مارتنزیتی

فولادهای پر آلیاژ

Cr-Ni steels

$$C \leq 0.12\%$$

$$18\% \text{ Cr, } 10\ldots 12\% \text{ Ni, Ti/Nb} \leq 1\%$$

- خوردگی بین دانه ای (در ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد)
- $C \uparrow \leftarrow$ مقاومت در برابر خوردگی $\downarrow$ (بخصوص در جوشها) $\leftarrow$ تبدیل C به $\text{Cr}_3\text{C}_2 \leftarrow$ کاهش درصد C در

آستنیت

- برای جلوگیری ($<0,03\%$) $C \downarrow$, Ti, Nb (0,1...0,2%)

فولادهای ضدزنگ



- عنصر اصلی آلیاژی در فولاد ضدزنگ: Cr (10-12% min)
- سایر عناصر آلیاژی: Ni, Mo, Cu, Ti, Si, Mn, Al, N, S
- با افزایش میزان کربن، مقاومت در برابر خوردگی کم می شود
- انواع فولاد ضد زنگ:

1. آستنیتی (200 and 300 series)
2. فریتی (400 series)
3. مارتنزیتی (400 and 500 series)
4. رسوب سختی (PH)
5. دوپلکس (دوفازی)

فولاد ابزار

- فولاد ابزار به انواعی از فولادهای کربنی و آلیاژی اشاره دارد که برای ساخت ابزارها مطلوب هستند.
- خواص این فولادها شامل سختی بالا، مقاومت در برابر سایش و خوردگی، قابلیت حفظ لبه‌های تیز ابزار، مقاوم در برابر تغییر شکل در دماهای بالا و ...
- فولاد ابزار مورد استفاده در ابزارها معمولاً عملیات حرارتی شده‌اند.
- فولاد ابزارهایی دارای درصد کربن بالا، معمولاً بسیار ترد هستند.



سیستم دسته‌بندی AISI (American Iron and Steel Institute)

AISI XXXX

عنصر اصلی آلیاژ

زیر دسته عنصر آلیاژی یا درصد نسبی عنصر اصلی آلیاژ

مقدار تقریبی کربن $\times 100$

سیستم نام گذاری فولاد (SAE (Society of Automotive Engineers)

SAE designation	Type
1xxx	Carbon steels
2xxx	Nickel steels
3xxx	Nickel-chromium steels
4xxx	Molybdenum steels
5xxx	Chromium steels
6xxx	Chromium-vanadium steels
7xxx	Tungsten steels
8xxx	Nickel-chromium-molybdenum steels
9xxx	Silicon-manganese steels

خواص متمایز فلزات آلیاژی

Si	W	V	S	P	Mo	Mn	Ni	Cu	Cr	Al	خاصیت / ماده اضافه شده
+	+	+		+	+	+	+	+	+		استحکام کششی
+	+	+		+	+	+	+		+		تنش تسلیم
-		+	-	-	+				+	+	مقاومت در برابر ضربه شکاف
-	+	+			+	-	-		+		استحکام سایشی
-	-	+	-		+	+	+		-	-	قابلیت تغییر شکل گرم
-	-		-	-	-	-		-			قابلیت تغییر شکل سرد
-	-		+	+	-	-	-				قابلیت براده برداری
		+	-						+		مقاومت خوردگی
+			-		+		+	+	+		مقاومت زنگ زدن
+	+	+			+	-			+		دمای سخت کاری
+	+	+			+	+	+		+		قابلیت سخت کاری - بهسازی
-	+	+			+	+			+		قابلیت نیترو کردن
+		+			+	+	+	+	+		نقطه لهیدگی
-											انبساط
-			-		-	+		-	-	-	قابلیت آهنگری و چکش خواری
-			-		+	+	-	-	-	-	قابلیت جوشکاری فشاری
-			-		+	+			-	-	قابلیت جوشکاری ذوبی
			+		+			+			قابلیت شکنندگی (سرخ)
-					-	-	-		-		سرعت بحرانی سرد شدن
+			-		+		+	+	+		مقاومت در درجه حرارت زیاد

جای خالی عدم تأثیر

- تأثیر منفی در خواص فولاد

+ تأثیر مثبت در خواص فولاد

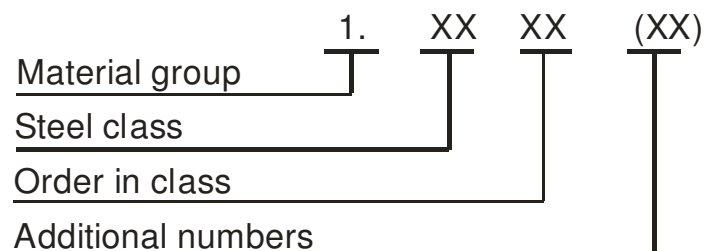
فولادهای آلیاژی و کربنی معمول

SAE designation	Type
Carbon steels	
10xx	Plain carbon (Mn 1.00% max)
11xx	Resulfurized
12xx	Resulfurized and rephosphorized
15xx	Plain carbon (Mn 1.00% to 1.65%)
Manganese steels	
13xx	Mn 1.75%
Nickel steels	
23xx	Ni 3.50%
25xx	Ni 5.00%
Nickel-chromium steels	
31xx	Ni 1.25%, Cr 0.65% or 0.80%
32xx	Ni 1.25%, Cr 1.07%
33xx	Ni 3.50%, Cr 1.50% or 1.57%
34xx	Ni 3.00%, Cr 0.77%
Molybdenum steels	
40xx	Mo 0.20% or 0.25% or 0.25% Mo & 0.042 S ^[1]
44xx	Mo 0.40% or 0.52%
Chromium-molybdenum (Chromoly) steels	
41xx	Cr 0.50% or 0.80% or 0.95%, Mo 0.12% or 0.20% or 0.25% or 0.30%

Nickel-chromium-molybdenum steels	
43xx	Ni 1.82%, Cr 0.50% to 0.80%, Mo 0.25%
43BVxx	Ni 1.82%, Cr 0.50%, Mo 0.12% or 0.35%, V 0.03% min
47xx	Ni 1.05%, Cr 0.45%, Mo 0.20% or 0.35%
81xx	Ni 0.30%, Cr 0.40%, Mo 0.12%
81Bxx	Ni 0.30%, Cr 0.45%, Mo 0.12%, and added boron ^[1]
86xx	Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.20%
87xx	Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.25%
88xx	Ni 0.55%, Cr 0.50%, Mo 0.35%
93xx	Ni 3.25%, Cr 1.20%, Mo 0.12%
94xx	Ni 0.45%, Cr 0.40%, Mo 0.12%
97xx	Ni 0.55%, Cr 0.20%, Mo 0.20%
98xx	Ni 1.00%, Cr 0.80%, Mo 0.25%
Nickel-molybdenum steels	
46xx	Ni 0.85% or 1.82%, Mo 0.20% or 0.25%
48xx	Ni 3.50%, Mo 0.25%
Chromium steels	
50xx	Cr 0.27% or 0.40% or 0.50% or 0.65%
50xxx	Cr 0.50%, C 1.00% min
50Bxx	Cr 0.28% or 0.50%, and added boron ^[1]
51xx	Cr 0.80% or 0.87% or 0.92% or 1.00% or 1.05%
51xxx	Cr 1.02%, C 1.00% min
51Bxx	Cr 0.80%, and added boron ^[1]
52xxx	Cr 1.45%, C 1.00% min

نام‌گذاری فولاد در استاندارد اروپا

Materials numbers (EN 10027)



Carbon Steel	
Base Steel	1.00XX-Base Steels
Quality Steels	1.01XX- General Structure Steels
Special Steels	1.11XX-Structural, Pressure Vessel and Eng. Steels with C<0.5%
Alloy Steel	
Quality Steels	1.08XX-Steels with Special physical properties
Special Steels	1.23XX-Tool Steels- CrMoV Steels
	1.35XX-Miscellaneous Steels- -Bearing Steels
	1.46XX-Stainless and Heat Resistant Steels
	1.51XX-Structural, Pressure Vessel and Eng. Steel (MnSi or MnCr Steels)

مثال

Characteristics of AISI 1010 Carbon Steel

Machinability:	Fairly Good
Forming:	Good
Welding:	Good
Heat Treatment:	Annealed / Case Hardened
Forging:	Good - Between 2300-1800 °F
Hot Working:	900-200 °F
Cold Working:	Good
Annealing:	1600-1800 °F (Full Annealed has Tensile Strength of 45 ksi)
Tempering:	600-1100 °F (Will Give Tensile Strength of 75 ksi)
Hardening:	Cold Working / Heat Treatment

Chemical Composition of AISI 1010 Carbon Steel

Carbon	0.08-0.13
Manganese	0.30-0.60
Phosphorus	0.040 max
Sulfur	0.050 max
Silicon	0.10 max
Iron	Balance

مثال

Steel Name	1018	1050	1075	1080	1084	1095
Manufacturer	Generic	Generic	Generic	Generic	Generic	Generic
Carbon:	.18%	.50%	.75%	.81%	.86%	.95%
Chromium:	--	--	--	--	--	--
Cobalt:	--	--	--	--	--	--
Manganese:	.75%	.75%	.75%	.75%	.75%	.40%
Molybdenum:	--	--	--	--	--	--
Nickel:	--	--	--	--	--	--
Niobium:	--	--	--	--	--	--
Nitrogen:	--	--	--	--	--	--
Phosphorus:	.04%	.04%	.04%	.04%	.04%	.04%
Silicon:	.22%	.22%	.22%	.22%	.22%	.22%
Sulfur:	.05%	.05%	.05%	.05%	.05%	.05%
Tungsten:	--	--	--	--	--	--
Vanadium:	--	--	--	--	--	--

مثال

Grade :	C45E
Number:	1.1191
Classification:	Non-alloy quality special steel

Chemical composition % of steel C45E (1.1191): EN 10277-5-2008

Cr + Mo + Ni = 0.63

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo
0.42 - 0.5	max 0.4	0.5 - 0.8	max 0.4	max 0.03	max 0.035	max 0.4	max 0.1

Equivalent grades of steel C45E (1.1191)

Warning! Only for reference

EU EN	USA -	Germany DIN, WNr	Japan JIS	France AFNOR	England BS	Italy UNI	Spain UNE	China GB	Sweden SS	Finland SFS	Russia GOST	Inter ISO
C45E	1045	Ck45	S45C	XC45 XC48H1	080M46 CFS8	C45	C45k F1140	45 45H	1672	C45	45	C45E4

مثال

Saarstahl - 42CrMo4 - 42CrMoS4

Material No.:	Former brand name:	International steel grades:
1.7225	Mo 40	BS: 708M40, 709M40, 708A42
		AFNOR: 42CD4
1.7227		SAE: 4140H, 4140RH

Material group: Steel for quenching and tempering according to DIN EN 10083

Chemical composition: (Typical analysis in %)	Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	other
	42CrMo4	0,42	0,25	0,75	1,10	0,22	<0,035	(Pb)
	42CrMoS4	0,42	0,25	0,75	1,10	0,22	0,020 0,035	(Pb)

Application: Alloyed heat treatable steel with a typical tensile strength of 900 - 1200 N/mm². For automotive and aircraft components with high toughness as axle journals, gears, tyres, push rods.

مثال

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
316 (S31600)	0.08 max	2.0 max	0.75 max	0.045 max	0.03 max	min: 16.0 max: 18.0	min: 2.0 max: 3.0	min: 10.0 max: 14.0	0.10 max
316L (S31603)	0.03 max	2.0 max	0.75 max	0.045 max	0.03 max	min: 16.0 max: 18.0	min: 2.0 max: 3.0	min: 10.0 max: 14.0	0.10 max

MECHANICAL PROPERTIES:

Grade	Tensile Strength ksi (min)	Yield Strength 0.2% ksi (min)	Elongation %	Hardness (Brinell) MAX	Hardness (Rockwell B) MAX
316 (S31600)	75	30	40	217	95
316L (S31603)	70	25	40	217	95

STANDARDS:

- ASTM/ASME: UNS S31600 / S31603
- EURONORM: X1 CrNiMo 17 12 2 / X3 CrNiMo 17 12 2
- AFNOR: Z 6 CND 17-11 / Z 2 CND 17-12
- DIN: 1.4401 / 1.4404

استانداردهای آلومینیوم

X	1	2	3	4	5	6	7
آلیاژ	ندارد (99% Al)	Cu	Mn	Si	Mg	Mn-Si	Zn
گستره Sut	12-27	26-62	16-29	19-42	28-42	18-45	33-83

Y	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	بدون تغییر	مقدار ناخالصی در مواد آلیاژی								

C	F	O	H (1-3)	T (1-10)
	بدون حرارت کاری	باز پخت شده	سخت کاری شده	حرارت کاری با درجات مختلف سردکاری

XYZZC

نوع آلیاژ

تغییراتی که در مواد آلیاژی اعمال شده

مقدار تقریبی آلیاژ بکار رفته (عدد دقیقی نیست)

نوع حرارت کاری

استانداردهای مس

Sut (KSI)	UNS#	آلیاژ	نام		% Cu
32-50	C 10000-C13000	Zn+Be	Commercially Pure	مس خالص تجاری	99.9
	C17000	ZN	Beryllium Brass	برنج بریلیوم	
37	C21000	ZN	Gliding Brass	برنج طلایی	95
	C22000	ZN	Commercial Brass	برنز تجاری	90
39-70	C23000	ZN	Red Brass	برنج قرمز	85
	C24000	ZN	Low Brass	برنج سبک	80
8-65	C26000	ZN	Cot Ridge Brass	برنج فشنگ	70
	C27000	ZN	Yellow Brass	برنج زرد	
25-53	C28000	ZN	Montez Metal	فلز مالتز	60
	C33000	ZN+Pb	Leal Brass	برنج سربی	
66-128	C50000	Sn	Phosphor Bronze	برنز فسفری	90
85-90	C606000-C64200	Al	Aluminum Bronze	برنز آلومینیوم	93
	C64700-C66100	Si	Silicon Bronze	برنز سیلیکونی	
	C70000	Ni	Copper Nickel	مس نیکل	
185	?	0.3% Co – 2% Be	Beryllium Copper	مس برلیوم	
	?	Mn	Magnesium Copper	مس منگنز	