

铁素体不锈钢

不锈钢是指在空气、水、盐的水溶液、酸以及其他腐蚀介质中具有高度化学稳定性的钢种。从化学成分来看，不锈钢中含铬量都较高。由于在大气条件时，钢中含铬量大约超过 12% 时，基本上不会生锈，因此习惯上将含铬量最少为 12% 的钢称为不锈钢。钢的这种不锈性是因为铬在铁的表面形成氧化膜，保护表皮下面的金属免遭腐蚀，从而使铁的表面“纯化”。

不锈钢不仅是广泛使用的耐蚀材料，而且具有较好的耐热性（包括抗氧化性及高温强度），是航空发动机中重要的结构材料之一，尤其是那些受力不是很大、在中温条件（500~550℃）下工作且要求较高耐蚀性能的零件，多采用不锈钢来制造。如早期的喷气发动机压气机转子叶片，通常采用 Cr13 型不锈钢锻件加工而成；喷嘴安装座、点火器安装座和液压管路中的一些零件，则常用 18Cr—8Ni 型不锈钢来制造。

不锈钢中除了铁、铬、碳这三个基本元素外，还含有镍、锰、氮、铜、钼、铌、钛、钨、钴以及硅、铝、硫、磷等元素。按它们对不锈钢显微组织的影响可以分为两大类：一类是扩大奥氏体区或稳定奥氏体的元素，如碳、氮、镍、锰、铜等；另一类是封闭或缩小奥氏体区形成铁素体的元素，如铬、硅、钛、铌、钼、钽、钨、铝等。上述化学元素的加入不仅影响不锈钢的组织，还影响其他性质，如抗氧化性、抗晶间腐蚀等。不锈钢中的主要合金元素及其作用如下：

- （1）增减镍及铬 控制奥氏体 r 相的稳定性及改善耐蚀性和抗氧化性。
- （2）加入硅及铝 增进抗氧化及抗渗碳性能。
- （3）加入钛及铌或降低碳含量 消除或降低晶间腐蚀倾向，因钛或铌可与碳形成稳定的碳化物。
- （4）加入钼 增加耐蚀性，特别是对含 Cl-介质的点腐蚀。
- （5）加入铜 提高对硫酸的耐蚀性。
- （6）加入硫、硒或铅 改进切削加工性能。
- （7）加入稀土元素 改善热加工及抗氧化性能。
- （8）加入锰 可部分代替镍，扩大 r 相区。
- （9）加入钒、钨、硼、铁、氮等 提高热强性。

不锈钢根据加入的合金元素以及所具有组织，大致可分为下列四类。

这类合金通常含铬 15%~30%，碳含量约保持在 0.12% 以下。为改善耐腐蚀性或诸如可切削性等其他特殊性能，还加入少量其他合金元素如钼、钛、铌，形成铁素体的元素占绝对优势，因此，这类钢都具有铁素体组织。典型的牌号有 Cr17, Cr17Ti, Cr17Mo2Ti, Cr25, Cr28 等。

铁素体不锈钢没有马氏体相变，它们的力学性能因热处理而发生的改变甚少。仅有热处理方式是退火（800~900℃），这种退火通常用于冷加工后，使钢恢复到加工前的状态。其他因加热而发生的变化还有下面三种：

- （1）晶粒粗化 这类钢的晶粒在 900℃ 以上极易粗化，因而冲击值大为降低。这类钢还因无 $\alpha \rightleftharpoons r$ 转变，晶粒粗化后无法用热处理方法变细，因此退火的温度宜低（800~875℃）。
- （2）475℃脆化 这类钢加热至 475℃ 附近长时间停留，或自高温缓慢冷却至 475℃ 附近时，产生脆化现象，在热处理时应尽可能避免。造成 475℃ 脆性的原因是富铬的 α'' 相在位错上析出，阻止位错运动。 α'' 相的沉淀，不仅影响不锈钢的力学性能，也使其在 65% 沸腾硝酸中的腐蚀速度增加。
- （3）形成 σ 相 当在 821℃ 以下温度范围内停留时间过长，就会形成一种硬而脆的化合物（ σ 相）。 σ 相是有害的，特别是当晶内出现的 σ 相组成魏氏组织时，将大大降低合金的蠕变断裂强度和冲击韧性。

马氏体不锈钢

这类合金含铬为 12%~18%，含碳 0.1%~1%。和普通碳素钢一样，它们经空冷也可形成马氏体而硬化。如果含碳量约达到 1%，并施以适当的热处理，则可得到很高的硬度。

马氏体不锈钢与铁素体不锈钢的区分可见图 1。一般认为，当铬量超过约 12% 时，钢才会钝化而不锈。因此如图 1 所示，不锈钢含铬量在 12% 以上。马氏体不锈钢与铁素体不锈钢含铬量有重合的区域（15%~18%），至于属于哪一类，以含碳量多少来决定。

马氏体不锈钢的力学性质与调质钢类似，当硬度提高时，抗拉强度及屈服强度升高，而延伸率、截面收缩率及冲击韧性则随着降低（见图 2）。

马氏体不锈钢的耐蚀性主要取决于铬含量，而钢中的碳由于与铬能形成稳定的碳化铬，又间接影响了钢的耐蚀性。因此在含铬 13% 的钢中，碳量愈低，耐蚀性愈高。如在 1Cr13, 2Cr13, 3Cr13 及 4Cr13 四种钢中，其耐蚀性与强度的顺序恰好相反。

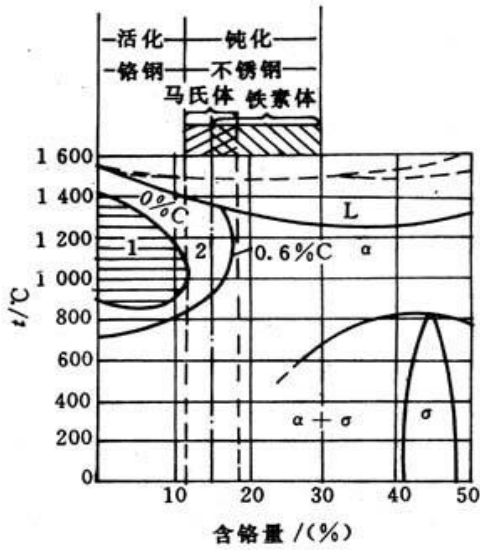


图 1 铬钢的分类及 Fe-Cr-C 平衡图的关系

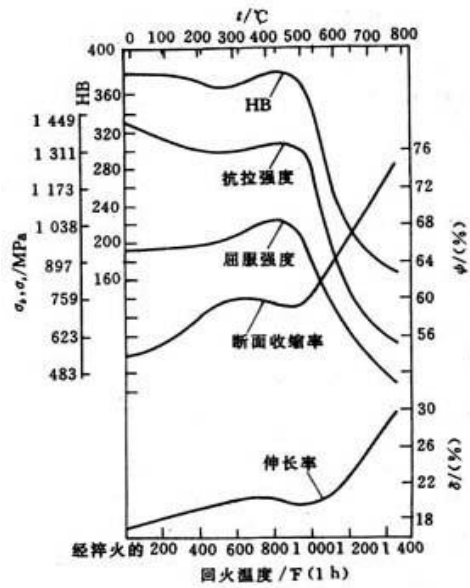


图 2 回火温度对 Fe-12%Cr 不锈钢机械性能的影响

奥氏体不锈钢

这类钢基本上是含镍为 6%~22%，含铬为 16%~25% 的三元合金。和铁素体不锈钢一样，不能通过热处理而强化。

从力学性能考虑，奥氏体不锈钢可以分为稳定的和不稳定的两大类：前者在大量冷变形时仍未转变马氏体，而后者则在冷变形时易于转变为马氏体。这两类不锈钢的屈服强度，只是由于固溶强化的区别而有少量的差异，而抗拉强度则由于马氏体相变而有较大的差距。

提高奥氏体钢强度最有效的方法是冷加工，冷加工时的加工硬化主要是由于部分奥氏体转变成马氏体而造成。

奥氏体不锈钢在室温下通常保持为奥氏体组织，塑性好，耐腐蚀性也较铁素体不锈钢好。为避免晶间腐蚀，许多奥氏体不锈钢要进行稳定化处理。

沉淀硬化不锈钢

这类合金通常含有 10%~30% 的铬，同时含有一定量的镍和钼。通常还加入 Cu, Al, Ti 和 Nb 来形成沉淀硬化相。这类钢最重要的性能，就是强度高 (σ_b 可达 1000~1500MPa)，高温性能好，特别是其中间接发生马氏体转变的钢，由于 M_s 点在室温以下，它们在常温仍具有奥氏体组织，易于成形和焊接，然后再经零下温度处理（转变为马氏体）并时效强化；这类钢还有优异的耐腐蚀性。通常根据热处理（固溶处理）后室温组织，可分为半奥氏体型和马氏体型沉淀硬化不锈钢。

1. 半奥氏体型

这类合金称作半奥氏体型，是因为在退火（固溶热处理）状态下，它们基本上是奥氏体，但通过较简单的热处理或者形变热处理，就能转变为马氏体。为了获得这种合金，对奥氏体和铁素体之间的平衡，必须保持严格的控制。

此类合金经常在轧制后以退火状态交货，并以“状态 A”表示。在状态 A，其组织由奥氏体基体和条状 α (δ) 铁素体组成。这些合金容易加工，就像真正的奥氏体不锈钢一样。

在软状态加工后，将奥氏体经预先热处理而转变为马氏体。预先热处理的操作是：将奥氏体加热至足够高的温度，使碳从固溶体中移去，并以 $(Cr_{23}C_6)$ 形式析出。从奥氏体基体中除去碳和某些铬，使奥氏体变得不稳定，随后冷却至 M_s 温度，奥氏体就转变成为马氏体。

半奥氏体沉淀硬化不锈钢最后一步热处理就是沉淀硬化处理。通常在 $480\sim 650^{\circ}C$ 范围内进行。当这些合金处于沉淀硬化状态时，可观察到晶界处形成的纹理状态。在沉淀过程中，马氏体中的铝与某些镍化合，产生 $NiAl$ 和 Ni_3Al 析出物，而使合金显著强化。

2. 马氏体型

从用量来看，马氏体沉淀硬化不锈钢比其他类型使用得更多。这是由于它们在固溶、退火状态的硬度较高。这些合金中奥氏体和铁素体是这样来平衡的，即在固溶热处理和冷却至室温后，它们呈马氏体状态。

马氏体型和半奥氏体沉淀硬化不锈钢在航空发动机上早已得到应用，如压气机后几级的转子叶片用沉淀硬化不锈钢 AM355 来制造。

表 1 列出常用不锈钢的牌号与化学成分。

表 1 不锈钢的牌号与化学成分

组织类型	不锈钢牌号	化学成分/ (%)											
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Ti	Mo	V	Nb	其他
铁素体	1Cr17	≤ 0.12	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	16~18						
	1Cr28	≤ 0.15	≤ 1.00	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	27~30		< 0.20				
	1Cr17Ti	≤ 0.12	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	16~18		$5 \times C\% \sim 0.8$				
马氏体	1Cr25Ti	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	24~28		$5 \times C\% \sim 0.8$				
	1Cr17Mo2Ti	≤ 0.10	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	16~18		$\leq 7 \times C\%$	1.6~ 1.9			
马氏体	0Cr13	≤ 0.08	≤ 0.60	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	12~14						
	*1Cr13	0.08~ 0.15	≤ 0.60	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	12~14						
	*Cr17Ni2	0.11~ 0.17	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	16~18	1.5~ 2.5					
	2Cr13	0.16~ 0.24	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	12~14						
	3Cr13	0.25~ 0.34	≤ 0.60	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	12~14						
	4Cr13	0.35~ 0.45	≤ 0.60	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	12~14						
	9Cr18	0.90~ 1.00	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19						
	9Cr18MoV	0.90~ 1.00	≤ 0.80	≤ 0.80	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19			1.0~ 1.3	0.08~ 0.12		
	1Cr11Ni2W2MoV	0.10~ 0.16	≤ 0.60	≤ 0.60	≤ 0.025	≤ 0.030	10.5~ 12	1.4~ 1.8		0.35~ 0.50	0.18~ 0.30		W: 1.5~ 2.0
奥氏体	0Cr18Ni9	≤ 0.06	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19	8~11					
	1Cr18Ni9	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19	8~11					
	2Cr18Ni9	0.13~ 0.22	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19	8~11					
	0Cr18Ni9Ti	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19	8~11	$5 \times C\% \sim 0.7$				
	1Cr18Ni9Ti	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.035	17~19	8~11	$5 \times (C\% - 0.02) \sim 0.8$				

	1Cr18Ni11Nb	≤0.10	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.035	17~20	9~13				8×C%	
	2Cr13Ni4Mn9	0.15~ 0.25	≤1.00	8~10	≤0.030	≤0.060	12~14	3.7~ 5.0					
	1Cr18Ni12Mo2T	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.035	16~19	11~14	5×(C%-0.02)~ 0.8	1.8~ 2.5			
	0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti	≤0.07	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.035	17~19	17~19	≤7×C%	1.8~ 2.2			Cu:1.8~ 2.2
	4Cr14Ni14W2Mo	0.4~ 0.5	≤0.80	≤0.70			13~15	13~15		0.25~ 0.40			W:2.0~ 2.75
沉	17—8PH	0.07	0.30	0.50	—		17.0	7.1					Al:1.2
	PH17—7Mo	0.07	0.30	0.50			15.2	7.1		2.2			Al:1.2
淀	AM—350	0.10	0.35	0.75			16.5	4.25		2.75			N:0.10
	AM—355	0.13	0.35	0.85			15.5	4.25		2.75			N:0.12
硬	17—4PH	0.04	0.60	0.03			16.0	4.2				0.25	Cu:3.4
	PH13—8Mo	0.03	0.25	0.25			11.75	8.4	1.2			0.3	Cu:2.5
化	Stainless W	0.06	0.50	0.50			16.75	6.25	0.8				Al:0.2
型													

不锈钢用途

钢号特性 用途

奥氏体钢

301

17Cr-7Ni-低碳

与 304 钢相比，Cr、Ni 含量少，冷加工时抗拉强度和硬度增高，无磁性，但冷加工后有磁性。

列车、航空器、传送带、车辆、螺栓、螺母、弹簧、筛网

301L

17Cr-7Ni-0.1N-低碳

是在 301 钢基础上，降低 C 含量，改善焊口的抗晶界腐蚀性；通过添加 N 元素来弥补含 C 量降低引起的强度不足，保证钢的强度。

铁道车辆构架及外部装饰材料

304

18Cr-8Ni

作为一种用途广泛的钢，具有良好的耐蚀性、耐热性，低温强度和机械特性；冲压、弯曲等热加工性好，无热处理硬化现象（无磁性，使用温度-196℃~800℃）。

家庭用品（1、2 类餐具、橱柜、室内管线、热水器、锅炉、浴缸），汽车配件（风挡雨刷、消声器、模制品），医疗器具，建材，化学，食品工业，农业，船舶部件

304L

18Cr-8Ni-低碳

作为低 C 的 304 钢，在一般状态下，其耐蚀性与 304 钢相似，但在焊接后或者消除应力后，其抗晶界腐蚀能力优秀；在未进行热处理的情况下，亦能保持良好的耐蚀性，使用温度-196℃~800℃。

应用于抗晶界腐蚀性要求高的化学、煤炭、石油产业的野外露天机器，建材耐热零件及热处理有困难的零件

304Cu

13Cr-7.7Ni-2Cu

因添加 Cu 其成型性，特别是拔丝性和抗时效裂纹性好，故可进行复杂形状的产品成形；其耐腐蚀性与 304 相同。

保温瓶、厨房洗涤槽、锅、壶、保温饭盒、门把手、纺织加工机器。

304N1

18Cr-8Ni-N

在 304 钢的基础上，减少了 S、Mn 含量，添加 N 元素，防止塑性降低，提高强度，减少钢材厚度。

构件、路灯、贮水罐、水管

304N2

18Cr-8Ni-N

与 304 相比，添加了 N、Nb，为结构件用的高强度钢。

构件、路灯、贮水罐

316

18Cr-12Ni-2.5Mo

因添加 Mo，故其耐蚀性、耐大气腐蚀性和高温强度特别好，可在苛刻的条件下使用；加工硬化性优（无磁性）。

海水里用设备、化学、染料、造纸、草酸、肥料等生产设备；照像、食品工业、沿海地区设施、绳索、CD 杆、螺栓、螺母

316L

18Cr-12Ni-2.5Mo 低碳

作为 316 钢种的低 C 系列，除与 316 钢有相同的特性外，其抗晶界腐蚀性优。

316 钢的用途中，对抗晶界腐蚀性有特别要求的产品。

321

18Cr-9Ni-Ti

在 304 钢中添加 Ti 元素来防止晶界腐蚀；适合于在 430°C-900°C 温度下使用。

航空器、排气管、锅炉汽包

铁素体钢

409L

11.3Cr-0.17Ti-低 C、N

因添加了 Ti 元素，故其高温耐蚀性及高温强度较好。

汽车排气管、热交换机、集装箱等在焊接后不热处理的产品。

410L

13Cr-低 C

在 410 钢的基础上，降低了含 C 量，其加工性，抗焊接变形，耐高温氧化性优秀。

机械构造用件，发动机排气管，锅炉燃烧室，燃烧器。

430

16Cr

作为铁素体钢的代表钢种，热膨胀率抵，成形性及耐氧化性优。

耐热器具、燃烧器、家电产品、2 类餐具、厨房洗涤槽、外部装饰材料、螺栓、螺母、CD 杆、筛网

430J1L

18-Cr0.5Cu-Nb-低 C、N

在 430 钢中，添加了 Cu、Nb 等元素；其耐蚀性、成形性、焊接性及耐高温氧化性良好。

建筑外部装饰材料，汽车零件，冷热水供给设备。

436L

18Cr-1Mo-Ti、Nb、Zr 低 C、N

耐热性、耐磨蚀性良好，因含有 Nb、Zr 元素，故其加工性，焊接性优秀。

洗衣机、汽车排气管、电子产品、3 层底的锅。

马氏体钢

410

13Cr-低碳

作为马氏体钢的代表钢，虽然强度高，但不适合于苛刻的腐蚀环境下使用；其加工性好，依热处理面硬化（有磁性）。

刀刃、机械零件、石油精练装置、螺栓、螺母、泵杆、1 类餐具（刀叉）。

420J1

13Cr-0.2C

淬火后硬度高，耐蚀性好（有磁性）。

餐具（刀）、涡轮机叶片。

420J2

13Cr-0.3C

淬火后，比 420J1 钢硬度升高（有磁性）。

刀刃、管嘴、阀门、板尺、餐具（剪刀、刀）。

不銹鋼 Austenite (奧氏體)系列	SUS303F	防銹性及切削性能良好，適合一般零件。
	SUS303Cu	Cu(銅)添加，加強切削性能，適用於軸心等零件。
	SUS304	不銹鋼中使用範圍最為廣泛，用於廚具、常規鋼。
	SUS304L	304 的極低碳素鋼，耐腐蝕性能卓越。
	SUS304HC	304 添加 Cu(銅)，冷加工性能提高，用於螺栓、母螺釘、鋼釘。
	SUS310S	抗氧化性能卓越，用於耐熱傳送帶。
	SUS316	耐腐蝕性能比 304 更卓越，用於耐腐蝕材料。
	SUS316F	316 添加 S(硫)，切削性能大大提高，適用於軸心等零件。
	SUS316L	316 的低碳素鋼，耐腐蝕性及更佳冷加工性。適用於螺栓、螺帽。
	SUS316LUX	低碳，耐腐蝕性比 316F 更佳，添加 S(硫)及 Cu(銅)，切削性能良好。
	SUS316LS-PX	低碳，耐腐蝕性比 316F 更佳，添加 S(硫)及 Cu(銅)，切削性能良好。
	SUSXM7	304 添加 Cu(銅)，提高冷加工性，適用於冷鍛等零件。
	不銹鋼 Martensite (馬氏體)系列	SUS416
SUS416F		Pb(鉛)添加，切削性能良好。可作熱處理，硬度高達 HRC40 以上。
SUS420J2		熱處理，硬度高達 HRC50 以上，適用於軸心等零件。
SUS420F		420J2 的改良鋼種，切削性能比 420J2 為佳。
SUS440C		耐熱鋼中具有最高硬度，用於噴嘴、軸承。
不銹鋼 Ferrite (鐵素體)系列	SUS430F	耐腐蝕性能高，用於螺栓、母螺釘及電子零件等。
快削鋼	12L14(SUM24L)	適用於切削用料及一般零件。
	1215(SUM23)	此產品為環保料，與 12L14 相比不含鉛及不含有對環境有害物質，切削性能良好。適合一般電鍍軸心、切削用料及一般零件。
	1213(SUM22)	中碳硫系 - 使用要求強度和被削性者，並提高 Mn(錳)含量以防止因添加硫而導致鋼材材質劣化，其中碳含量超過 0.40%者多屬調質後使用，故適用於機械及汽車之零件。
	1144(SUM43)	中碳硫系 - 使用要求強度和被削性者，並提高 Mn(錳)含量以防止因添加硫而導致鋼材材質劣化，其中碳含量超過 0.40%者多屬調質後使用，故適用於機械及汽車之零件。
碳素鋼	S15C/S20C/S45C/S45CF	低中碳鋼 / 中碳快削鋼，熱處理後硬度可達 HRC50 以上。適用於機械構造用鋼、手工具等。
	SK4F	高碳素快削鋼，添加 S(硫)及 Pb(鉛)，增加切削性，可作熱處理，硬度可達 HRC61。

鉻軸承鋼(高碳)	SUJ2	利用微細碳化物之析出，提高鋼材之耐磨耗性，適用於軸承、滾子軸、滾筒以及量規等產品，其中鉻鉬系具備高溫之機械性能，適用於較高溫用途。
鉻鉬合金鋼	SCM415	可熱鍛及冷加工，適合一般鏈條零件、刀刃、工具或機器零件。
	SCM435 / 440	易切削性，適合形狀較複雜的加工。SCM435 可用於螺絲、螺栓等機器零件。SCM440 可用於軸類、汽車零件等。
鎳鉻鉬合金鋼	SNCM220	含 Ni(鎳)成份，於軸承、活塞、汽車零件等表面滲碳硬化用。
	SNCM439	含 Ni(鎳)成份高，防銹性比 SCM415/435/440 系列高。適用於軸類、汽車零件等。
異形材	各種材質	一般車床、二次加工機床難於加工之形狀複雜零件，如起用異形材可減少工序及生產成本。
疲勞鋼	FATIGUE-PROOF	近似 AISI-1144，為高拉力鋼材，切削性良好，適合一般電動工具及機器零件。
鈦合金	TB340C	鈦屬於一種較輕及強度高之金屬，高耐蝕性，特別是耐海水性能良好。適合鐘錶及一般化學工業零件之用。
鋁合金	6061, 6063	高純度鋁材，適用於散熱器、光學器材等。