

# 目 录

怎样选用合适的 不銹鋼	[美国]	1
不銹鋼的正确热处理	[英国]	6
不銹鋼的热处理	[美国]	11
不銹鋼的热处理技术	[日本]	37
石油和石油化学工业用不銹鋼	[西德]	40
化学工业用高合金鋼	[西德]	44
应用电子显微镜研究 X18F14 鋼在高温下碳化物析出和铁素体分解	[苏联]	52
沉淀硬化不銹鋼	[捷克斯洛伐克]	54
奥氏体不銹鋼的稳定化处理	[美国]	59
奥氏体-马氏体不銹鋼的性质和其热处理	[編譯]	75
以鈦稳定的 18-8 不銹鋼的金相学	[美国]	84
稀土金属对不銹鋼性能的影响	[苏联]	99
用磷强化奥氏体不銹鋼	[美国]	103
鉻-鎳-錳不銹鋼的結構及其机械性能的研究	[日本]	109
化学成分、热处理及冷轧对鎳鉻不銹鋼机械性能的影响	[美国]	115
各种热处理类型对冷轧和冷拉不銹鉻鋼絲机械性能和組織的影响	[英国]	123

# 怎样选用合适的 不锈 鋼

[美国] R. E. Paret

为了某一项特殊用途,要从现有的许多不锈合金中正确地挑选出一种合适的材料,也并不是一件轻而易举的事。本文扼要地叙述了不锈 鋼的分类、性能、最常用型号的应用以及现有的轧制形状和精整等几个方面。

不锈 鋼根据其成份和金相組織,通常可划分为奥氏体、铁素体和马氏体三大类(表 1),在任何一类 鋼中各 鋼号的性能主要是程度上的变化,而不是性质上的差异。因而对各种 鋼号的加工处理具有合理的相似性。

目前共有 37 种不同的 AISI (美国 鋼鉄协会)

标准不锈 鋼型号。每种 鋼的成份都是为了满足一些特殊的设计上和制造上的要求而设计的。虽然对某一特定构件,可以选用性能良好的不锈 鋼不止一种,但若选用了最合适的材料常会以最低廉的价格制造出更好的产品来。

表 1 不锈 鋼的典型机械性能

AISI 型号	特 性	抗拉强度 (1000 磅/吋 <sup>2</sup> )	屈服强度 (1000 磅/吋 <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	硬 度 (R <sub>B</sub> )
奥氏体 鋼					
201	加工硬化程度高,含镍量低,相当于 301 型	115	55	55	90
202	通用 鋼,含镍量低,相当于 302 型	105	55	55	90
301	加工硬化程度高,作结构以及需要高强度和塑性方面的应用	105~110	40	55~60	85
302	通用 鋼	85~90	35~40	55~60	80~85
302B	基本上与 302 型相似,但抗起皮性更佳	90~95	40	50~55	85
303	302 型的易切削变型 鋼	90	35	50	—
303Se	302 型的易切削变型 鋼,用在轻切削、热加工或冷做方面	90	35	50	—
304	302 型的低碳变型 鋼,以限制焊接时碳化物的析出	85	30~35	50~60	80
304L	304 型的低碳变型 鋼,以进一步限制碳化物的析出	75	28	50	70
305	加工硬化程度低,用在旋形成形和深拉方面	85	35~38	50~55	80
308	高合金 鋼,具有高的耐蚀性和耐热性,用作焊条,以补偿焊接时合金的烧损	85	30~35	50~55	80
309	用在需要高温强度和抗起皮性方面	90~95	40~45	45	83
309S	309 型的低碳变型 鋼,用在焊接结构方面	90~95	40~45	45	85
310	高温强度和抗起皮性比 309 型更佳	95	45	45~50	85~89
310S	310 型的低碳变型 鋼,用在焊接结构方面	95	45	45~50	85~89
314	抗起皮性比 310 型更佳	100	50	40~45	85
316	耐蚀性比 302 和 304 型更佳,蠕变强度高	80~90	30~40	50~60	78~85
316L	316 型的低碳变型 鋼,用在焊接结构方面	80~90	30~40	50~60	78~85
317	耐蚀性和抗蠕变性比 316 型更佳	85~90	40	45~50	85
321	用在要受到苛刻的腐蚀条件的焊接件和在 800~1600°F 温度范围内使用时	85~90	30~35	50~55	80
347	与 321 型相同	90~95	35~40	45~50	85
348	与 321 型相同	90~95	35~40	45~50	85

(續上表)

AISI型号	特 性	抗拉强度 (1000磅/吋 <sup>2</sup> )	屈服强度 (1000磅/吋 <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	硬 度 (R <sub>B</sub> )
铁素体鋼					
405	含鉻 12% 的非硬化不銹鋼, 用在 12%Cr 的耐蝕性已很好的焊接件方面	65~70	40	25~30	75
430	通用非硬化鉻不銹鋼	75	40~45	25~30	80
430F	430型的易切削變型鋼	75	40~45	25~30	80
430FSe	430型的易切削變型鋼, 用在熱加工或冷鍛方面	80	55	25	—
446	耐蝕性和高溫抗起皮性均很好, 特別適合間歇使用在含硫氣氛中常比 Cr-Ni 鋼更好	80~85	50~55	20~25	83~86
馬氏體鋼					
403	用作汽輪機葉片和其它受高應力的零件	65~75	35~40	25~35	80~82
410	通用可熱處理不銹鋼	65~75	35~40	25~35	80~82
414	可硬度高的馬氏體鋼	115~120	90~105	15~20	—
416 <sup>1)</sup>	410型的易切削變型鋼	75	40	30	82
416Se	410型的易切削變型鋼, 用在熱加工或冷鍛方面	—	—	—	—
420	410型的高碳變型鋼	95	50	25	92
431	特殊用途可硬化鋼, 用在機械性能需要特別高的地方	125	95	20	24
440A	可以硬化到比 420 型更高的硬度, 耐蝕性良好	105	60	20	95
440B	是用在耐磨耗和高硬度零件方面的刀具鋼	107	62	18	96
440C	在可硬化不銹鋼中硬度最高, 可製造滾珠和軸承座圈	110	65	14	97

1) 从 416~440 C 型所有性能数据均指棒材

## 奧氏體不銹鋼

在 AISI 标准 200 和 300 系統中, 奧氏體不銹鋼共有 22 种不同型号(表 1)。在不銹鋼中这一类型的不銹鋼使用得最广泛, 其耐蝕性亦最佳, 且其高温强度和高温抗氧化性也为其它不銹鋼和耐熱鋼所不及。在接近絕對零度的温度下, 奧氏體不銹鋼尚能保持它的延展性。

### 機 械 性 能

200 型和 300 型不銹鋼具有突出的可加工性和高强度的特性。在退火状态时, 这类奧氏體鋼均无磁性, 此时延展性最好、屈服强度較低、冲击强度高并且沒有缺口效应。退火状态时的抗拉强度約 90,000 磅/吋<sup>2</sup>, 与此相比, 軟鋼还不到 50,000 磅/吋<sup>2</sup>。

奧氏體鋼不能通过熱處理硬化, 但經冷加工后可使抗拉强度提高, 并改善其弹性。加工硬化后, 虽然大部份奧氏體不銹鋼均多少略有些磁性, 但仍能保持很好的延展性。表 2 中比較了在不同状态时所測得的机械性能。

改变鋼中合金元素的含量或加入其他元素, 可改变不銹鋼的性能, 从而可滿足某些专门需要。化

学成份对不銹鋼机械性能中的极限强度(拉伸和压缩)以及延展性的影响最大, 而对屈服强度和弹性模数的影响則相对地較小。

在不銹鋼的应用中, 若强度、延展性和高耐蝕性很重要时, 則常选用 301 型不銹鋼。这种鋼的加工硬化程度很高, 現以五种不同状态供应(表 2)。301 型不銹鋼經冷加工后可通过消除应力来提高屈服强度。由于冷加工会使鋼材有高的强度-重量比, 因而有可能即使利用較薄的 301 型和其它奧氏體不銹鋼仍能获得相当的强度。

硬化程度高的合金虽宜用于許多场合中, 但在深拉和旋轉加工时, 却更希望选用加工硬化程度較低的合金。对于滾軋或成形这一类操作, 必須选择一种在塑性变形范围内加工硬化程度較适当的合金。在对給定含鉻量的 Cr-Ni 鋼进行旋轉加工和成形时, 鎳对应硬化程度的影响最大, 碳則次之。随着鎳与鉻的含量增加, 可加工性也提高。

### 退 火

305 型不銹鋼能滿足最低加工硬化性能和最高延展性的需要, 通过退火可达到极大的軟度。当穩定性較低和含碳量較高的奧氏體鋼緩慢地加热或冷却通过敏化温度范围(800~1500°F)时, 会引起碳化鉻在晶界的析出, 使碳化鉻的邻近区发生貧鉻現

表 2 奥氏体不锈钢在不同状态时的机械性能

ANSI 型号	状 态	抗拉强度 <sup>1)</sup> (1000磅/吋 <sup>2</sup> )	屈服强度 <sup>1)</sup> (1000磅/吋 <sup>2</sup> )	硬度 <sup>2)</sup> (R <sub>n</sub> )
201	退 火	75	40	96
	$\frac{1}{2}$ 硬化 <sup>3)</sup>	125	75	—
	$\frac{3}{4}$ 硬化 <sup>3)</sup>	150	110	—
	完全硬化 <sup>3)</sup>	175	135	—
	完全硬化 <sup>3)</sup>	185	140	—
202	退 火	75	40	96
	$\frac{1}{2}$ 硬化 <sup>3)</sup>	125	75	—
301	退 火	75	—	94
	$\frac{1}{2}$ 硬化 <sup>3)</sup>	125	75	—
	$\frac{3}{4}$ 硬化 <sup>3)</sup>	150	110	—
	完全硬化 <sup>3)</sup>	175	135	—
	完全硬化 <sup>3)</sup>	185	140	—
302	退 火	75	—	94
	$\frac{1}{2}$ 硬化 <sup>3)</sup>	125	75	—
304	退 火	75	—	94
304 L	退 火	70	—	94
305	退 火	70	—	94
309	退 火	75	—	96
310	退 火	75	—	96
316	退 火	75	—	96
	$\frac{1}{2}$ 硬化 <sup>3)</sup>	125	90	—
316 L	退 火	70	—	96
321	退 火	75	—	94
347	退 火	75	—	最小 94
348	退 火	75	—	94

- 1) 指最小值;
- 2) 除非另有说明, 否则均指最大值;
- 3) 仅薄板和带材可得

象, 从而使耐晶间腐蚀性稍有降低。

实际上 Cr-Ni 钢中即使析出了碳化铬, 其耐蚀性在大多数应用中仍是足以胜任的。然而, 当焊接件不能通过退火使碳化铬回复到固溶体中去, 而且将在强腐蚀性介质中使用, 或者是当其处于腐蚀条件下又恰巧是在敏化温度范围内工作时, 碳化铬析出的影响就必须加以考虑, 因为此时, 焊接中所发生的沉淀和贫铬造成了沿焊缝出现薄弱地区, 因而多半是危险的。

### 含 碳 量

为了避免焊接时的敏化作用或把这一作用减低至最小限度, 特地设计了许多低碳不锈钢。304、309 S 和 310 S 型不锈钢, 其最高含碳量均不超过

0.08%, 这些钢通常能满足一般使用时的大部份要求。由于含碳量较低, 因此这些钢经受焊接加热的時間可以延长, 而仍不至于因碳化铬析出而达到有害的程度。

倘若焊接方法需要在敏化温度范围内长时间加热, 或者使用时的腐蚀条件特别苛刻, 则应指定用 304 L 或 316 L 型不锈钢。这些钢的最高含碳量不超过 0.03%, 因此少量的碳就比较稳定地溶解在奥氏体中, 从而使碳化铬的析出被限制到可忽略不计的比值。

为了适应在 800~1500°F 敏化温度范围内长时间使用而设计的设备或需经受长时间焊接加热的复杂部件, 可选用三种添加稳定元素的不锈钢, 即 321、347 和 348 型不锈钢, 钢中分别添加了钛、铌和钽。这些元素与碳形成碳化物的倾向很强烈, 因此与钢中所有的碳都结合了, 于是钢中所含的碳可以全部用来提供最大的耐蚀性。

添加稳定元素的不锈钢特别适用于高温下需要耐蚀性能的原子能工业或特别苛刻条件下应用的喷气引擎零件。

### 高温抗氧化性

许多合金在 2030°F 或更高温度时的抗起皮性或抗氧化性可以进一步说明不锈钢适合各种用途的突出适应性。不同高温时这些钢的氧化皮重量损失见图 1。含镍量和含硅量高的时候对提高抗起皮性和耐热性的作用最大, 约 11% 的含镍量也能促进这些性能。

在连续或间歇使用中需要抗起皮性时, 可选用 314、310、309 和 302 B 型不锈钢。在所有 Cr-Ni 钢中 310 型的膨胀系数为最低, 由于这一特性, 这种钢

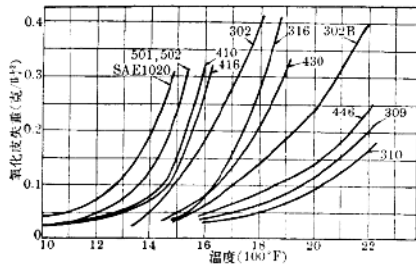


图 1 各种型号不锈钢的氧化皮重量损失。根据间歇加热-冷却循环 12 个周期所产生的重量损失绘制

在高温生成的氧化皮就不会因反复的加热-冷却循环而发生开裂或剥落现象。

308 型不锈钢因可补偿焊接时所烧损的合金元素,故而主要用作焊条。310 型不锈钢在焊接低铬合金时也可作焊条之用。这些不锈钢除了能补偿烧损的铬之外,因含镍量较高,故尚能提高焊接件的延展性。

### 耐 蚀 性

在所有的标准不锈钢中,以含钼奥氏体钢如 316、316L 和 317 型的耐蚀性最高,316 型钢比其它 Cr-Ni 钢更耐点腐蚀,因此对于需要接触盐水、含硫水或卤素盐类的应用方面极为重要。在奥氏体合金中,这三种不锈钢的蠕变强度为最高,图 2 比较了 316 型与铬钢及 Cr-Ni 奥氏体钢的蠕变强度。

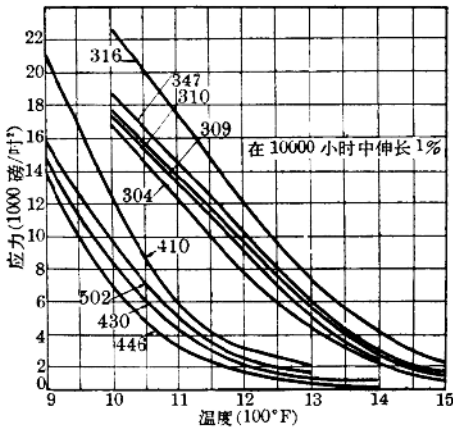


图 2 铬钢与 Cr-Ni 奥氏体不锈钢的蠕变强度

### 切 削 性 能

上述三大类不锈钢中每类至少已发展出一种易切削钢,303 型和 303Se 因含硫量高(或添加了硒),因此促使它们具有良好的切削特性,并且有助于降低粘性。由于上述原因,这些合金的切削性能约为酸性转炉螺絲钢的 70%,与 302 型相比,后者仅约 45%。添加剂除了能提供易切削性能外,尚能降低咬合和磨損的倾向。这些性能的改进在两个活动表面相接触的情况下显得特别重要。易切削钢的横向延展性稍有降低,并且在锻造和锻粗时的开裂倾向也必须考虑。

## 铁素体不锈钢

铁素体不锈钢中因碳与铬的比例很低,因此消除了热转变效应,并避免了热处理硬化现象。铁素体钢具有磁性,有良好的延展性和非常优异的切削性能,适合拉丝、旋转加工、弯曲,以及其它的制造方法。这些钢因含铬量很高,故而有良好的耐蚀性和抗氧化性,而且加工硬化不会到任何显著的程度。另一个明显的优点是它们的膨胀系数比奥氏体钢小,约与碳钢相等或更小。

铁素体钢在间歇加热和冷却时没有“脱皮”的倾向,这一性能有利于高温下使用,因而此时常选用这类钢。446 型和 430 型不锈钢在间歇高温使用时的适应性见图 1。

430 型是通用铁素体钢,常用来代替 302 型不锈钢,特别适合在冷轧机上的成形操作,用这个方法可以获得非常优越的平整表面,这些表面经磨光后很容易提高到镜面状态而无需经中间抛光。由于这个特性,430 型被广泛地用于舰装、模具以及其它装饰性用途方面。

### 机械和物理性能

430 F 和 430 Se 型不锈钢的机械性能与 430 型相似,由于在合金中增加了含硫量或添加硒,使这些合金在不锈钢中具有最好的切削性能,约为酸性转炉螺絲钢的 90~95%,对于自动螺絲钉加工机以及成批生产精密部件而耐蚀性要求并不太高时,则选用这些钢最为合适。

在铁素体不锈钢中,446 型的高温抗起皮性最佳,因此当需要间歇工作或在含硫量高的废气中使用特别见效,遇到这些条件时,446 型有可能比含镍钢更为优越,但是它的高温强度和低温韧性则不及含镍的高温钢。

446 型的含铬量最高(23~27%),在所有不锈钢中它的膨胀系数最小,其膨胀率几乎与玻璃接近,因此最适宜于作金属和玻璃的密封操作。

在 405 型钢中添加铝后阻碍了钢的硬化,从而产生出一种特别对焊接性能上有所改良的低铬合金,添加铝后也避免了含铬较高的铁素体钢因长时间暴露于高温中所引起的晶粒长大和脆性倾向。405 型的焊接件虽不经热处理仍能保持其柔软性和较好的延展性,这种合金特别适用于 1200° F 温度以下使用而无法进行退火且 12% 的铬合金的耐蚀性已足

够应付的焊接装配件。

## 马氏体不銹鋼

由于马氏体鋼中碳与铬的含量高，因此是唯一能通过热处理硬化的鋼类，在各种不銹鋼中，机械部件中这类不銹鋼用得最多。这些鋼的特性是：硬度高、延展性好。

### 机械和物理性能

马氏体不銹鋼在硬化状态时具有最佳的耐蚀性和机械性能，退火时的抗拉强度为70,000~105,000磅/吋<sup>2</sup>；而硬化时为125,000~200,000磅/吋<sup>2</sup>。马氏体鋼在各种条件下均有磁性，其导热性是各型不銹鋼中最佳者，极适宜于热加工和鍛造（若能以缓慢冷却和退火来防止开裂），它们的切削性能也不坏，但很少用来成形。

这类鋼中用得最广泛的是410型，它的抗拉强度、韧性和硬化后的冲击抗力都很高。与大多数马氏体鋼一样，这种鋼也能焊接，但焊前需预热，焊后也需加热，这是因为从焊接温度冷却时会形成脆性马氏体之故。410型鋼在中温有抗起皮性，因此可以用在操作温度低于1200° F 的场合中。

如果希望硬度和强度更高，則可用414型和420

型来代替410型，414型可用来制造弹簧和閥座这类零件。420型鋼应用方面的出色例子是外科和齿科用具，此时，主要要求是弹性和硬度，然而，由于它们的硬度即使經退火后还是很高，因此这些鋼的可加工性就受到了严格的限制。

通过热处理可使403型和431型鋼达到很高的机械性能，403型鋼可用来满足某些特殊性能的要求，最初是为了制造汽轮机叶片而设计的，此时的基本要求是为了抗特别严重的应力、湿浸蚀、腐蚀以及抗磨损。431型經热处理后具有良好的冲击值和延展性，并且它的耐蚀性比410、420和440型还优越。431型比基本马氏体鋼410型的强度更高，此外尚具有高的屈服点和抗震性。

马氏体鋼中的易切削鋼是416和416 Se型，它们的切削性能是酸性轉炉螺絲鋼的90%左右。416型含硫量高，因此使这种鋼具有良好的切削情况，并容許較重的切削。416 Se型鋼中因添加了硒，使这种鋼具有良好的潤滑性能，可以作較輕的切削和热加工或冷鐵之用。

440 A、440 B 和 440 C 型鋼通过热处理后可使它们的硬度比所有其它不銹鋼都来得高。由于它们在可硬化鋼中的含碳量最高，所以耐蚀性也最佳。

（徐克廉譯自《Machine Design》

1959年6月162~167页 龔杰校）

# 不銹鋼的正確熱處理

[英國] W. Sherman

在高應力或高溫或腐蝕介質下工作的機械零件採用不銹鋼的數量日益增長，同時在現代不銹鋼的很多製造技術上又都要求有過程加熱或熱處理，因此不銹鋼的熱處理已變得越來越重要了。

三種主要類型的不銹鋼在熱處理上有很大的不同特點，奧氏體類型的不銹鋼是不能用加熱淬硬的，它們只能用冷加工硬化，它的熱處理也只限有固溶退火和除應力處理，而這些處理對於有很高的抗腐蝕性或延伸性能要求的零件往往是非常重要的。鐵素體類型的不銹鋼是不能用熱處理或冷加工來加以硬化的，這種不銹鋼在製造過程中所產生的內應力可以用退火的方法來消除。馬氏體類型的不銹鋼能用熱處理的方法進行完全淬硬和回火，因此當零件需要有很高的強度、製造性能好和抗腐蝕性能高等綜合性能時，使用這種類型的不銹鋼就有了廣泛的可能性，典型的零件有軸、齒輪、墊片、切削工具和耐磨損的表面等。新增加的沉淀硬化型不銹鋼，對可以完全硬化的不銹鋼來說又增加了一種新的系列。

不銹鋼零件常用冰冷處理來保證獲得更大的硬度和更高的尺寸穩定性，因為將零件很好地冷卻到零度以下，就能使所有的殘余奧氏體都轉變成馬氏

體，除了沉淀硬化不銹鋼以外，這種處理可應用於所有硬化類型的不銹鋼。

## 馬氏體類型不銹鋼

大部份馬氏體不銹鋼都是以棒料形式供給製造者做機械加工零件的，一般它是從軋鋼廠或倉庫內以退火狀態供應給機械加工部門的，這種鋼材經完全熱處理在獲得最大硬度時具有最高的抗腐蝕性，如果需要的是較大的韌性和高的尺寸穩定性，則材料需經回火，但是這常常使抗腐蝕性能稍有下降。

### 退 火

馬氏體類型不銹鋼如果在焊接或在溫度超過 1500~1600°F 下熱成形後不是很慢的冷卻，則該種鋼將會硬化，如果不能控制冷卻而零件為了以後工序的需要又必須軟化和具有延伸性，那就必須退火。由於完全退火能恢復它的最軟化狀態，所以零件可根據它的不同鋼種加熱到 1550~1675°F，在這溫度下保溫足夠的時間（厚度一般每吋約 90 分鐘左右），然後以不超過 25~50°F/小時的冷卻速度在爐中冷卻到 1100°F 以下再在空氣中冷卻。當零件不需要完全軟化而進行過程退火時，可根據它的不同鋼種加熱到 1150~1450°F 然後在空氣中冷卻。

### 淬 硬

馬氏體類型不銹鋼要完全淬硬就需要加熱到 1700~1950°F，然後淬油或空冷。為了避免開裂，零件在加熱時應非常緩慢，例如小零件應加熱到 1450°F，在這溫度下保溫一段時間直到均熱後再很快地升溫到完全硬化溫度，如果是形狀複雜的大零件則還需要增加在 1000°F 均熱一段時間。在硬化溫度保溫過長的時間不但是不經濟的，而且還會因此產生造成脆性的晶粒長大，一般每吋厚度保溫一小時已經足夠了，但是根據經驗往往可以在指定溫度下保溫更少的時間。由於不銹鋼零件的厚度大部份是少於一吋的，因此保溫時間的計算往往以分來計，例如對 1/16 吋厚的板料在淬硬溫度保溫約 4 分

表 1 不銹鋼的種類

	奧氏體不銹鋼不能加熱淬硬，能退火和除應力，可用冷加工硬化	馬氏體不銹鋼都能淬硬回火和在所要求的性質很大範圍內進行除應力	鐵素體不銹鋼不能用熱處理硬化，能退火和除應力
基本型號	En 58A	En 56 A	En 60
穩定類	En 58B En 58F	—	—
抗腐蝕的	En 58J	—	—
焊接的	En 58 E	—	FI (Al)
高溫的	En 55	—	Pyrista
加工性好的	En 58 AM	En 56 AM	—
組織	17/7	—	—
機械性能高的	—	En 57	—
高溫強度的	—	En 56 A	—
高硬度的	—	En 56 D	—

註：如某一用途沒有英國標準時，可以採用典型的專利（例如 Firth-Vicker）技術條件

钟,而对 1/8 吋厚的材料約 8 分钟左右。

表 2 马氏体不銹鋼的退火

过 程 退 火			
鋼 种	温 度(°F)	时間(小时)	冷 却
En56AM	1350~1450°F	1~2	空
En56D	1375~1425°F	2~5	空
En57	1150~1225°F	5~7	空
完 全 退 火			
鋼 种	温 度(°F)	硬 度(R <sub>B</sub> )	
En56AM	1550~1650°F	75~80	
En56D	1600~1650°F	85~90	
En57	不常用; 退火后可以软化到 100		

注: 保温时間为一小时, 冷却速度为每小时 25~50°F

表 3 马氏体不銹鋼的淬硬温度

鋼 种	硬化温度(°F)
En 56AM	1750~1850°F
En 57	1800~1950°F
En 56D	1800~1900°F

淬硬马氏体不銹鋼的除应力处理

鋼 种	温 度(°F)	时間(小时)	硬度(H <sub>B</sub> )
En56AM	450~700°F	1½~3	330~370
En57	450~700°F	1½~3	350~390
En56D	325~700°F	1~2	400~510

注: 用低温度和短时間可获得高硬度和高的抗腐蝕性, 用高温度和长时間可获得高的延伸性和韌性

### 除应力退火

如果淬硬的零件沒有經過回火, 那末为了去除应力必須进行低温热处理, 其方法为将零件加热到 325~700°F, 保温 1~3 小时, 冷却的速度要求并不严格, 一般是在静止空气中冷却的。如果为了縮短时間在上述温度的高限保温, 則零件的硬度只比淬火状态略低一些, 而在消除了不平衡应力的同时, 延伸率 and 韌性将有所增长, 如在上述温度的中限, 采用中等的保温时間, 例如 550°C 90 分則可获得最大的韌性或冲击强度。

### 回 火

回火比除应力退火需要有更高的温度, 一般是

在 1050~1400°F (在除应力退火和回火温度的中間范围例如 750~1000°F 是不用的, 因为这样会損害冲击强度和抗腐蝕性), 回火虽能增加延伸性和韌性, 然而会降低硬度、屈服和抗拉强度以及抗腐蝕性, 因此必須严格地选择回火温度和保温时間。

## 奥氏体类型不銹鋼

奥氏体不銹鋼的热处理是为了 (1) 去除应力和回复软化 (2) 增加抗腐蝕性。在制造过程中当不稳定型的奥氏体不銹鋼 (18-8 型) 加热到 800~1600°F 时, 則鎳的碳化物将沿着晶粒边界析出, 从而降低了鋼的抗腐蝕性, 因此如果要溶解碳化物或重新溶解鎳和碳, 則零件必須进行固溶退火。

固溶退火要求緩慢加热到 800°F (以減少內应力), 再很快地从 800°F 升温到 1600°F (以消除更多的碳化物进一步析出), 然后根据它的不同鋼种加热到 1850~2150°F, 零件在退火温度应保温足够的时間, 以便完全均热, 一般大約每一吋厚保温 30 分钟左右, 随之以尽快淬冷到 800°F 以下再在空气中冷却到室温。

表 4 奥氏体不銹鋼的固溶退火

鋼 种	温 度(°F)	淬 火 方 式
En58M	1900~2050°F	快, 水或空冷
En58E	1850~2050°F	快, 水或空冷
En56J	1950~2100°F	快, 水或空冷
En58B	1750~1950°F	水或空冷
En58F	1800~2000°F	水或空冷

注: 保温时間: 用較高的温度范围时 30 分钟, 用低温度范围时可更短一些; 各种鋼号都能获得最高的硬度 85 R<sub>B</sub>; 只有薄型和小截面零件允許空冷; 规定不稳定型不銹鋼 (除了 En58B 和 En58F 外的所有奥氏体不銹鋼) 应在三分鐘內从退火温度冷却到 800°F

### 稳 定 型

使用稳定型不銹鋼可以避免有害的碳化物析出和不可少的固溶退火, 这类不銹鋼是在奥氏体不銹鋼的基础上加入了較之鎳更易形成碳化物的少量鈦、铌或鉬。这三种金属的碳化物均匀地分布在基体上而不是集中在晶粒边界上。稳定型不銹鋼能在敏化温度区域内連續使用, 尤其是用这类鋼制成的零件如果在加工过程中产生了能够觉察到的內应力时, 可以在低温 (最高为 1600°F) 下除应力而不需



要淬火,这一点对制造复杂形状的机件是很重要的,因为复杂形状的机件在剧烈的固溶退火时可能会产生变形。

### 超低碳型

另外一种减少碳化物析出的方法是用低碳型不锈钢[例如 FSL (L) 和 FV 316 (L)],在这些不锈钢中由于形成碳化物的碳量是有限的,因此铬碳化物的析出较之低碳钢要慢得多。超低碳型不锈钢一般能用来焊接而不会析出碳化物,同时还能进行除应力退火和缓慢冷却,但是这种钢如果在敏化温度区内保持 2 小时以上,那也会析出碳化物,因此它们不能作为在 800~1600°F 温度下正常使用的机械零件。

### 除应力退火

在制造过程中間往往需要去除应力,例如需要经过三次加工成形的零件就是这样。当加工程度剧烈的工序例如深拉和卷边需要完全软化时,最经济的办法是在碳化物析出的温度范围内除应力。这时必须避免酸洗。在最后成形之后为了要获得最高的抗腐蚀性能,就必须经过固溶退火。

## 铁素体类型不锈钢

虽然铁素体类不锈钢不能用热处理来硬化,但是它能够借退火重新获得延伸性、软化和去除应力。此外,虽然这类钢也会有碳化物析出,但是焊接件有时仍可用退火(1450~1550°F)来增加焊接区的抗腐蚀性,不过应该避免从退火温度缓慢冷却。无论为了抗腐蚀性或者除应力,退火都需要加热到 1200~1650°F,随之进行空冷或淬火。但温度超过 1650°F 晶粒会长大是铁素体类不锈钢的一种特性,因此在这温度或者超过这温度下操作时应该尽可能迅速,以避免产生过分脆性,这个规定对于在制造时需要加热的零件是很重要的。

## 沉淀硬化类不锈钢

沉淀硬化不锈钢是一种比较新而且现在还在继续研究中的钢,每当应用这类钢时,必须从易于制造和完工零件应具有最好的机械性能的观点出发,仔细地研究和发展出它们最佳的工艺方案,因此下面所谈的仅是对根据典型的 Firth Vicker 型发展而

来的沉淀硬化不锈钢的热处理一般指南。

### FV 520 (B) 鋼

当 FV 520 (B) 鋼在 1868°F 正火是近似于具有抗拉强度 68 吨/吋<sup>2</sup>的低碳马氏体鋼。这种鋼从奥氏体轉变成马氏体是在冷却到 300°F 时开始,而在温度到 86°F 时基本上完成。

在 1868°F 正火随后在 842~1040°F 沉淀硬化和空冷将产生高的拉力强度。如在完工温度 842°F 时保温 4 小时将会得到 85 吨/吋<sup>2</sup>的抗拉强度和良好的延伸性,更高的温度(最高达 1148°F)将使延伸性增加,但是降低了抗拉强度。均匀加热和控制冷却是很重要的,否则将会产生高的内应力。这类鋼在最后时效处理时将会产生一个可以预料得到的 0.0004~0.0006 吋/吋的收缩,如果零件需要精确的公差,那就只能在加工时得到补偿。

520 (B) 可以利用下列四种热处理:

1. 1868°F 空冷:为了使用者在加工和以后热处理的需要,硬度为 400 VP<sub>N</sub>。

2. 1868°F 空冷加 1148°F 一小时:只限于棒料锻件或小锻件,非常适宜于冷锻。

3. 1868°F 空冷加 1382°F 两小时加 1022°F 两小时空冷:在每二种处理的中間建議在室温中停留至少 24 小时。这种过时效处理是为了使用者不必自己再进行热处理。这时硬度为 320 VP<sub>N</sub>,具有良好的延伸性和高的抗冲击性能。

4. 1868°F 空冷加 1382°F 两小时空冷加 1148°F 一小时空冷:和上面一样在室温中閒空冷是必须的。这种完全过时效状态下的 FV 520 (B) 鋼对于一些温和的冷成形工序有足够的延伸性。

520 (B) 焊接性能较好,在焊接后经过 1382°F 和 1022°F 双重热处理后能得到高强度的焊接件。

### FV 520(S)不锈鋼

FV 520(S)鋼适宜做成形零件,一般是以奥氏体状态供应,它能够有二种方法轉变成马氏体:即无论是加热到 1382°F 两小时冷到室温,或加热到 1742°F 15 分钟再冷到 -94°F 都能获得马氏体,(准确的马氏体轉变温度是取决于創造条件退火时所采用的退火温度)\*然后分别在 1022°F 或 842°F 完成时效。

\* 創造条件退火 (Conditioning-Anneal) 是指为马氏体轉变創造条件的低温退火 —— 譯者注

这种鋼的第三种处理方法为材料經冷軋40%和在842°F时效4小时后的轉变。这种方法获得的延伸性低但是抗拉强度約为100吨/吋<sup>2</sup>，而前面二种方法虽能获得較好的延伸性但强度分別只有73吨/吋<sup>2</sup>和85吨/吋<sup>2</sup>。

沉淀硬化不銹鋼，随着热处理方法的不同都会使零件的最后机械性能有变化，例如在842°F时效的材料較在1022°F时效的强度高，但延伸性低。一般延伸性是随着时效温度的升高和热处理时间的延长而增长，但是却会因此而降低了强度。材料在轉变时大約有0.004吋/吋的膨胀，而接着在沉淀硬化处理时有0.0005吋/吋的收縮。

空气对退火和热处理时是一种滿意的介质，但是光亮退火除非采用真空炉則必須在氢、氮或氩气的气氛中进行。否則将会出现氧化皮和使色泽变暗，但是一般这很容易被除去。

## 加热制造

虽然在特殊热处理时如退火和硬化等常常要采用加热的方法，但是还必须考虑到在制造过程中也经常需要加热，下面是一些加热对制造有益或有害的例子。

在机械切割或剪切厚截面的某些铁素体不銹鋼时，会使材料有脆化的趋向，因此应加热到350~400°F下加工，以免材料的边缘开裂。

高速鋸可能使材料的边缘温度升高到如焊接那样发生組織轉变，因此需要退火。

热制将引起組織改变，在奥氏体鋼中可能有碳化物析出，这一点取决于鋼受热的時間。在铁素体鋼中可能会引起晶粒长大。

热成形时必须仔細注意开始和完工的温度，热成形之后一定要进行退火，在马氏体不銹鋼中，除了沉淀硬化鋼外，退火应在零件还没有完全冷却，以手触之有些微温时进行，以免开裂。

奥氏体不銹鋼的铆釘只应在1900~2100°F保温到材料刚刚均热就可以了，铆釘应在温度降落到1700°F以前就将其铆好，以免裂开。由于铆釘和相连接的工件相比，质量很小，因此温度下降到通过敏化温度区时的速度将非常快并且足以防止碳化物析出。对于铁素体不銹鋼的铆釘在加热时不应超过1500°F，否則将使晶粒长大和发生脆性。

弹簧应在低温进行热处理(400~800°F)，以减少由于冷加工所产生的应力和改进疲劳性能。以奥

氏体系列不銹鋼制成的弹簧加热不应该超过800°F。生产时可以从600°F35分钟开始試用不同的温度和時間配合以求得最合适的工艺。

管子弯曲在250~400°F进行，以改善弯曲性能 and 增加某些铁素体不銹鋼的韌性。

半热成形(Warm Forming)是在500~750°F下进行，以减少由于加热方法所产生的氧化皮和由于冷加工所造成的加工硬化。

## 设备和准备工作

对不銹鋼的加热來說最重要的是灵敏和准确地控制温度和時間，一般在处理薄壁零件时，保留時間常常是几分钟的事情，而温度的微小波动，也可能是很重要的。炉子的热容量必須适宜于在加热奥氏体类不銹鋼时能使其很快地通过敏化温度区(800~1600°F)。材料的装卸也是一个重要因素，必須力求能从炉中迅速地取出工件，并尽快地轉送到淬水池或其它的冷却设备中去。为了要减少氧化皮和获得一个光亮的成品表面，愈来愈多地采用了特殊的炉气，例如氢、氮、氮或氩气，这样炉子的结构就显得更加重要了，炉墙必須沒有裂紋。炉门必須密閉，以防止气体逸出和被空气所沾污。

炉子的尺寸应该使工件进出不会触及炉墙并能安装支撑夹具。

在用油和气体燃烧的炉子，火焰必須不直接冲击工件，因为火焰接触的地方将造成局部过热、变形，而受火焰冲击的地方还会引起增碳，所以应该使用马弗罐以阻止火焰直接冲击。

### 热处理的支撑夹具

形状复杂的大工件，例如焊接件在加热和冷却时都必须仔細地支撑，以免产生变形，如果零件是开式结构(Open Construction)，支撑夹具也是重要的。某些制造厂采用不銹鋼而不用碳鋼来作支撑夹具，因为前者在高温时强度仍較高，此外，它不会因为工件的热膨胀系数不同而产生变形，如果一定要用碳鋼作为支撑夹具，那么应该在和工件接触的地方用石棉垫隔絕，以免工件被碳所沾污。

### 光亮退火

光亮退火已超过原来只处理小零件的范围，而有了很大的发展，由于零件在空气中退火会产生氧化皮，而它又必須用其它的方法才能除去，因此要防

止零件失去光泽和产生氧化皮就应该在精确控制又没有潮气的氩气或分解氮气(75% $H_2$ +25% $N_2$ )的气氛中进行退火。

无论用箱式炉和连续式炉都可用来进行光亮退火和光亮淬硬。箱式炉操作时需要有一个有进出气管道的密封容器,以便让保护气体能够环绕工件不断流动。在连续式炉内保护气体是用分解氮气充满在整个炉膛内。因为需要精确的控制气氛,制造厂常常要求专业的热处理工厂予以合作。

保护气体也可用来作不锈钢的钎焊,特别是在蜂窝板的生产。在箱式炉中操作时可把要钎焊的工件装入密闭的容器内,再把容器放于有净化的氩气在不断地通过进出口管道循环的炉膛内。

另一种广泛地采用来消除氧化皮、增碳和脱碳的方法,是用盐溶炉热处理,将工件完全浸没在温度受控制的介质中,用盐溶炉热处理并不如所想象的那样激烈,因为当零件浸入盐浴中时,在零件的周围旋即形成一层盐的保护层,直到工件接近盐浴温度时为止。同样的,当工件从炉中取出时也会在工件表面有一层薄的盐层从而阻止了氧化。

## 工件准备

另一主要点是仔细地去做好热处理零件的准备工作,如果可能应将试片在零件处理以前先行处理,以便决定最好的温度和时间。所有的工作都必须极其仔细进行洁淨工作,特别是当表面情况很重要时更应如此,例如在光亮无锈的表面上留下的指印在光亮退火之后,将会在表面上形成烙印,除非经过抛光,这种痕迹很难去除。碳钢和其它含碳材料应该远离不锈钢工件表面,因为它们会造成局部增碳,从而对机械性能和抗腐蚀性产生一种有害的影响,如果零件需要快冷时,就必须考虑到变形的可能性,因此应该选用适当的支柱和合适的支撑夹具。

如需要了解不锈钢热处理工艺,那么上述情况是很重要的,这样就可避免可能造成零件的退修或报废。

(王 永译自«Metalworking  
Production» 1960年3月  
104卷 470~474页 传 言校)

# 不銹鋼的熱處理

[美國] S. W. Cole

隨着不銹鋼的應用日益廣泛，在其熱處理方面已積累了許多寶貴的參考數據。本文通過下列各節，深入地討論了各種氣氛的影響及有關熱處理爐的設計；並討論了冶金學上的分類及不銹鋼的型號。

不銹鋼通常都具有耐蝕及耐熱性能。但是熱處理的條件對這種性能的影響很大。在概述不銹鋼之前簡略地討論一下熱處理的條件和奧氏體、鐵素體、馬氏體、沉淀硬化不銹鋼等各種特殊類型不銹鋼的熱處理。

## 熱處理的條件

### 滲 碳

如在還原性氣氛中進行處理常會引起滲碳，這是應該防止的。此外，也不能用會使碳導入金屬表面的材料裝填不銹鋼工件。如木炭、煤和焦炭粉、骨炭粉及鑄鐵屑。這種物質在熱處理溫度中將會使不銹鋼滲碳，從而嚴重地影響其使用時的抗腐蝕性能。

含有碳的滲碳劑，如氰化鹽，對碳鋼及工具鋼呈中性的鹽浴往往能使不銹鋼滲碳。

火焰直接噴射至工件，會產生脫碳，亦可能使鎔不銹鋼滲碳。可淬硬的不銹鋼表面脫碳，其結果會使表面層的硬度降低。奧氏體鎳鉻不銹鋼的脫碳反應是不可逆的。

### 氧 化

在普通氣氛中進行高溫熱處理時不銹鋼稍有氧化。溫度到達 $450\sim 550^{\circ}\text{F}$ 前尚無明顯的氧化。但在此溫度範圍內可看到一層極薄的氧化膜，溫度再升高則顯得更厚些。

氧化程度與爐氣成分、溫度、保溫時間及鋼的合金含量有關。一般對鎳鉻較高的合金其影響較小且高溫時所產生的嚴重的氧化皮，在酸洗時很難去除。

但是，使用略帶氧化性的氣氛，所產生的氧化皮用酸洗方法就容易去除，並且金屬的表面比用還原性氣氛時較為平整。

### 控制爐氣

應用局部燃燒過的燃料或經處理過的燃料所製

成的爐氣，可以防止及減少碳鋼或低合金鋼的氧化。但對於不銹鋼則反而會產生一種氧化皮，這種氧化皮雖比在普通爐氣中所產生的稍薄，但亦不易用酸洗方法去除。這種氣氛應該嚴格控制，否則亦會產生脫碳現象。

不銹鋼無氧化處理必需使用氣密爐及高純氫或分解氨（見圖1）。分解氨的成分為75%氫、25%氮。可在普通設備中通過加熱的觸媒劑而將無水氨分解。

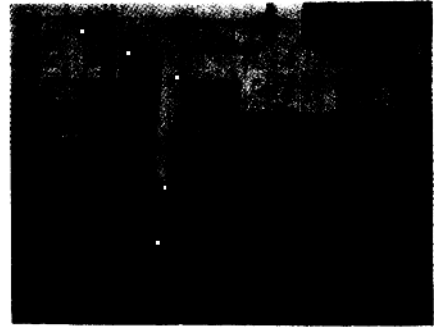


圖1 圖中箱式爐應用乾燥的分解氨氣氛作不銹鋼零件的光亮淬火

對於沉淀硬化不銹鋼熱處理的氣氛應該另行分別考慮。加熱17-7 PH及PH 15-7 Mo時證明空氣為良好的爐氣。控制的還原性氣氛如光亮退火氣體或分解氨，有滲碳或滲氮的危險。對於沉淀硬化類型的不銹鋼在干氫中處理很難不氧化，因為在 $1400^{\circ}\text{F}$ 或較低溫度的熱處理時需要有很低的露點。但是，在加熱溫度為 $1750^{\circ}\text{F}$ 的情況下，干氫可使17-7 PH、PH 15-7 Mo的表面不氧化。

通常需要完全不氧化及不產生熱變色，必需用真空爐。

17-7 PH及PH 15-7 Mo的另一種熱處理必需在 $-100^{\circ}\text{F}$ 保持8小時。冰冷處理可在普通設備中灌入酒精或丙酮再加入干冰（固體 $\text{CO}_2$ ），溫度可保持在 $-100^{\circ}\text{F}$ 或 $-109^{\circ}\text{F}$ 而不需要任何控制設備。

## 炉子的类型及结构

不锈钢可以在普通的燃气或燃油型炉，电热或感应加热式炉中加热。

很多车间应用简单的马弗型燃气或燃油炉满意地进行不锈钢的热处理。这种炉子的构造可防止火焰喷射在工件上。PH 15-7 Mo 不锈钢的热处理通常采用电炉或燃气和燃油的辐射管炉。图2是处理不锈钢高尔夫球棒头子的燃气连续退火炉。不锈钢在水淬时的变色，这是水蒸汽所形成的。因此这就是为什么在不锈钢的光亮退火及淬火加热炉中，必需有一个冷却室，并要有一扇与加热室分开的炉门的道理。冷却室有水套和风扇使炉料快速冷却。镍铬不锈钢在这种炉子中退火时，要迅速地从加热室转移至水套冷却室，以获得所需要的淬火效果(见图3)。

目前不锈钢应用感应加热退火及淬火是广泛而满意的(见图4)。

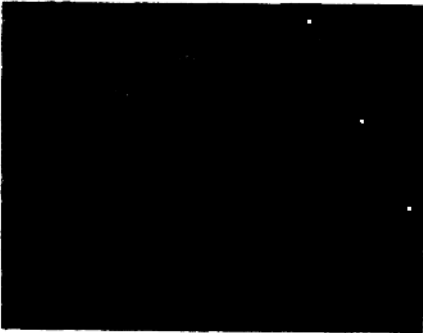


图2 燃气的推盘式连续退火炉用作不锈钢高尔夫球棒头子工件的退火。头子经过加热保温，然后接连通过三个冷却室



图3 302型不锈钢的烹饪用具，经过深冲以后在电热连续炉中退火，工件在二个冷却室中空冷



图4 1250千瓦，60赫的不锈钢环加热器，在左边挤压，中间装料，右边加热。每小时可加热30根6吋不锈钢环至挤压温度

水冷却的铜线圈作为初级线圈，以传导高频交流电流(大多数工件为10,000~12,000赫)。加热的工件是作为次级电路而安放在感应器所形成的环或圈中。两者之间互不接触；线圈及工件之间有一个气隙。磁力线圈通过待加热材料的表面，感应而产生能量使工件加热至所要求的温度。

感应加热十分迅速，直径为1吋的冷拉不锈钢棒材，在9秒钟内可加热至2100°F。这种快速加热使氧化大为减少。其加热系统清洁、体积小、自动控制，而且并不必需要熟练的操作者。此外能准确控制温度、降低成本及节约时间，改善了工作条件，因而是一种值得推荐的优越方法。这种方法多数用于大批零件的热处理，因为设备费用较贵，而且必须设计能配合特殊工件的感应器。但感应加热对于不锈钢热处理仍十分适合。

在淬火及退火处理时温度的控制允许稍有波动，但温度控制准确，则能得到最好的效果。特别是在对硬度及抗拉强度要求很严格的淬硬合金的回火时，更应注意温度的控制。使用安装在适当位置的热电偶，此外必须具备标准的高温计，以便在加热周期中准确的测定温度。

优良的热处理炉子能够使不锈钢工件均匀而深透地加热到所规定的温度，而且产生最少的氧化。在炉中控制氧化皮的形成要比以后用酸洗方法去掉氧化皮要经济得多。因为附在不锈钢上的氧化皮比碳钢上的更难去除。

## 工件的准备

不锈钢在加热前应完全清洁，去除表面的无机油、植物油或其它有机物质，可防止在炉子中渗碳以及随后在酸洗时形成凹坑。

溶于水的机油，可用碱清洁剂去除；工件随后用

热水冲洗并干燥。无机油可用蒸汽脱脂或溶剂迅速清洗。

不锈钢使用锌合金模子时，在退火时锌很易沿晶界渗入而使钢发脆这一点应该加以注意。其补救办法是以热处理前在硝酸溶液中清洗工件。

### 奥氏体不锈钢的热处理

铬-镍不锈钢含镍量超过6% (6.0%~22.0%) 及铬(16.0~26.0%)作为主要的合金元素。其它元素如钼、钛、钴、硒等的加入可获得特殊的性能。各种型号不锈钢列于表1。这些合金除了用表面硬化法如氮化外使用热处理方法不能硬化，但通过冷加工能产生高硬度(见图5)。镍铬类型通常无磁性，然后经过剧烈冷加工后有些合金具有磁性，退火状态组织为单相奥氏体，该钢种即“奥氏体”不锈钢。



图5 301型不锈钢的冷加工组织。在变形的奥氏体晶粒上有滑移线(500×)

表1 第1类 镍铬奥氏体不锈钢(化学成分)

型号	类别	碳(%)				硅(%)	铬(%)	镍(%)	其它元素(%)
		≤	≤	≤	≤				
301	17-7	0.15	2.00	0.045	0.03	1.00	16.0~18.0	6.0~8.0	Zr 或 Mo ≤ 0.6 Se ≥ 0.10
302	18-8	0.15	2.00	0.045	0.03	1.00	17.0~19.0	8.0~10.0	
302B	18-8 Si	0.15	2.00	0.045	0.03	2.00~3.00	17.0~19.0	8.0~10.0	
303	18-8 FM	0.15	2.00	0.20	≥0.15	1.00	17.0~19.0	8.0~10.0	
303Se	18-8 FMSe	0.15	2.00	0.20	0.06	1.00	17.0~19.0	8.0~10.0	
304	18-8	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	18.0~20.0	8.0~12.0	
	(低碳)								
304L	18-ELC	0.03	2.00	0.045	0.03	1.00	18.0~20.0	8.0~12.0	
	(超低碳)								
305	18-11 FS	0.12	2.00	0.045	0.03	1.00	17.0~19.0	10.0~13.0	
308	20-10	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	19.0~21.0	10.0~12.0	
309	25-12	0.20	2.00	0.045	0.03	1.00	22.0~24.0	12.0~15.0	
309S	25-12	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	22.0~24.0	12.0~15.0	
	(低碳)								
310	25-20	0.25	2.00	0.045	0.03	1.50	24.0~26.0	19.0~22.0	
310S	25-20	0.08	2.00	0.045	0.03	1.50	24.0~26.0	19.0~22.0	
	(低碳)								
314	25-20 Si	0.25	2.00	0.045	0.03	1.50~3.00	23.0~26.1	19.0~22.0	
316	18-12 Mo	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	16.0~18.0	10.0~14.0	Mo-2.0~3.0
316L	18-12 Mo ELC	0.03	2.00	0.045	0.03	1.00	16.0~18.0	10.0~14.0	Mo-2.0~3.0
317	19-12 Mo	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	18.0~20.0	11.0~15.0	Mo-3.0~4.0
321	18-10 Ti	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.0~19.0	9.0~12.0	Ti 5% C
347	18-10 NbTa	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.0~19.0	9.0~13.0	Nb-Ta ≥ 10% C
347FSe	18-10 NbTaFMSe	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.0~19.0	9.0~12.0	Nb-Ta ≥ 10% C + Se
348	18-10 Nb	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.0~19.0	9.0~13.0	Nb-Ta ≥ 10% C Ta ≤ 0.10

## 退 火

退火为镍铬不锈钢的主要热处理。冷加工应力消除以后能达到最软而且韧性最高。退火也能溶解晶界析出的碳化铬(图6)。热加工、焊接在碳化物析出的温度范围内,或在此范围缓慢冷却,都能使碳化物在晶界沉淀,这种碳化物可以重新加热到高于碳化物沉淀的温度范围( $800\sim 1600^{\circ}\text{F}$ )使碳化物自溶解,随后快速冷却使其保存在固溶体中。



图6 304型不锈钢的退火组织,在晶界上没有碳化物( $500\times$ )

321型( $18-10\text{Ti}$ )及347型( $18-10\text{NbTa}$ )与其它奥氏体合金不同,这种合金加入钛、铌、钽与碳结合从而使碳化铬形成减到最小。这种效应称为“稳定化”。347型钢“敏化”处理后的弥散状碳化物组织示于图7(在碳化物沉淀的温度范围内加热)。

电弧或气焊接合并承受严重腐蚀条件的零件应用这种合金是很合适的;亦很适用于 $800\sim 1650^{\circ}\text{F}$ 温度范围内工作的零件。

在此温度范围以下通常不需要稳定化类型的的不锈钢。含碳量 $\leq 0.03\%$ 的304L及316L型钢足敷应用。这种类型钢完全能抗焊接过程中所产生的敏化效应,并且当温度低于 $800^{\circ}\text{F}$ 时,在很多严重腐蚀条件下都能使用(见图8)。此外,使用在焊接及随后低于 $800^{\circ}\text{F}$ 的轻腐蚀条件下,304型的18-8( $C\leq 0.08\%$ ),已很理想。

在热处理以后使用于腐蚀的18-8型不锈钢件示于图9。



图7 347型不锈钢在 $1250^{\circ}\text{F}$ 敏化1小时的组织,碳化物呈弥散状态( $500\times$ )



图8 304L型不锈钢在 $1250^{\circ}\text{F}$ 敏化1小时的组织,无沉淀碳化物( $500\times$ )

表2列出了各种镍铬不锈钢的退火温度范围。含碳量低的采用下限,含碳量高的采用上限。退火后的硬度与退火的温度及时间有关。退火时间相同而温度较高则其硬度稍低。

在退火温度下的时间不宜过长。工件到温度均匀化以后材料已经充分敏化,且碳化物迅速地进入固溶体。在退火温度下薄的材料只需1~2分钟,按常规工件厚度每英寸保温3分钟。

在上限温度延长加热时间则会促使晶粒长大。虽然对延伸性的影响不太大,但是钢在拉拔或成形时会产生“橘皮”(Orange peel)。而且,通常在高温产生的氧化皮,比在温度较低,时间较长所产生的氧化



图9 一只大型不锈钢容器刚从加热炉中取出。这种 18-8 不锈钢用于耐腐蚀方面,为了获得优良的抗腐蚀性必须高温退火

表 2 铬镍不锈钢的退火温度

型号	类别	退火温度(°F)
301	17-7	1900 ~ 2050
302	18-8	1900 ~ 2050
302B	18-8 Si	1900 ~ 2050
303	18-8 FM	1900 ~ 2050
304	18-8	1850 ~ 2050
304L	(低 碳)	1850 ~ 2050
	18-8 ELC	
304L	(超 低 碳)	1850 ~ 2050
	18-8 ELC	
305	18-11 FS	1850 ~ 2050
308	20-10	1850 ~ 2050
309	25-12	1900 ~ 2050
309S	25-12	1900 ~ 2050
310	(低 碳)	1900 ~ 1950
	25-20	
310S	25-20	1900 ~ 1950
316	(低 碳)	1900 ~ 2050
	18-12 Mo	
316L	18-12MoELC	1900 ~ 2025
316L	(超 低 碳)	1900 ~ 2025
	18-12 Mo	
317	19-12 Mo	1950 ~ 2050
321	18-10 Ti	1750 ~ 1950
347	19-10 NbTa	1800 ~ 1950
348	18-10 Nb	1800 ~ 1950

皮易于酸洗。

铬镍不锈钢必须从退火温度快速冷却,使碳化物保存在固溶体中。最好用水淬,如果有变形问题则可采用空气或喷雾淬火。

含碳 $\leq 0.08\%$ 厚至 0.250 吋未经过稳定化的材料,可以采用空气淬火。含碳量高达 0.10%,厚至

0.78 吋的薄板亦可用空气淬火。水淬适用于较厚及含碳较高的材料。

304 及 304L 钢经过同样的敏化处理,其含碳量对沉淀碳化物或稳定化的影响,在图 8 及图 10 的显微组织中已作了比较。

对 310 型钢(25-20)应该采用水淬,因为此类钢即使用快速的空气冷却在晶界亦会沉淀碳化物。大型工件从炉中取出后必须快速冷却。在浸入淬火浴之前其温度必须不低于 1650°F。301 型水淬的组织示于图 11。

稳定化的不锈钢退火条件与其它奥氏体钢相



图 10 304 型不锈钢在 1250°F 敏化 1 小时的组织,碳化物在晶界呈连续网状(500×)



图 11 301 型不锈钢的退火组织,晶界无碳化物(500×)



同。采用推荐的退火温度的下限則較為穩定。需要作高度冷变形的金属在上限温度退火具有最大的延伸性。

有时采用“稳定化退火”。这是将退火或焊接的工件加热至 1600~1650°F, 約 2~4 小时然后空冷或水淬。这种处理的目的是沉淀全部碳化物如稳定的鈦或鈷碳化物, 从而增加其耐蝕性能。在很多情况下不必这样做, 因为退火已經起到稳定合金的作用。但是稳定化不銹鋼如处于 800~1650°F 温度范

围內, 并在严重腐蝕的环境下应用, 則应以稳定化退火作为最后工序。

### 消除应力

奥氏体不銹鋼經冷加工而使之产生高强度时, 則以低温回火或消除应力能够增加弹性。加热至 650~800°F 保温 30 分钟至 2 小时并空冷。表 3 列示了消除应力对輕微或严重冷加工的棒材及綫材的影响。

表 3 冷加工 18-8 棒材及綫材消除应力的影响

尺寸	状态	抗拉强度 (磅/吋 <sup>2</sup> )	屈服强度 0.2% 变形 (磅/吋 <sup>2</sup> )	比率极限 (磅/吋 <sup>2</sup> )	延伸率 (%) 标距 2 吋	断面收缩率 (%)
1吋 直径	冷拉状态	108000	69000	33000	39.5	64.5
	消除应力后 (750~800°F 1小时)	108000	75000	42500	37.0	65.0
0.188吋 直径	冷拉状态	215000	172000	64000	6.0	53.5
	消除应力后 (750~800°F 1小时)	220000	194000	96500	6.0	57.5
0.080吋 直径	冷拉状态	279000	265000	157000	2.0	—
	消除应力后 (750~800°F 1小时)	300000	292000	187000	2.0	—

焊接組織加热至低于常用的退火温度, 可消除或緩和内部应力。加热温度为低至 800~ 高至 1700°F。

应力的消除程度主要取决于加热温度, 温度高些, 应力消除多些。可視使用条件而确定温度。1300°F 或更高的温度可使应力-腐蝕开裂的敏感性减少。

焊接結構消除应力时, 由于碳化物的沉淀或其他組織的轉变, 因此温度、時間及冷却速度可能会影响其抗腐蝕或机械性能。

不銹鋼棒材、綫材、鋼帶及薄板的典型机械性能列于表 4 及表 5。

### 铁素体不銹鋼的热处理

铁素体不銹鋼以鉻为其主要合金元素。碳含量一般很低, 僅为残余量, 这种合金自高温淬火并不硬化。

405 型(12 Al)鋼含鉻相当低, 但尚有少量碳、加入鋁延迟其高温时形成奥氏体。因之这种类型鋼用热处理方法不能使其显著地硬化。430 型(17 Cr)及

430 F 型(17 FM)鋼基本上亦是不可硬化的; 但如从 1800~1850°F 快速冷却其布氏硬度可升至 250~275 左右。

所有铁素体类型的鉻鋼都具有磁性。退火状态的組織为单相 α 铁素体, 图 12 及 13 列該类鋼为“铁素体不銹鋼”。各种铁素体类鋼的化学成分列于表 6。

### 退火的实践

冷加工及深拉的中間工序或成品通常需要进行退火热处理。

这种鋼高于 1650°F 长时间保温以后容易产生粗晶組織并变脆。因之通常退火温度低于 1550°F (见表 7)。

在退火温度所保持的时间与奥氏体不銹鋼相同。按常规为每 1/10 吋保温 3 分钟。

为了防止变形, 小截面零件应作空冷; 大截面零件可采用空冷或水冷; 通常铁素体鉻合金从退火温度快速空冷, 可改善其冲击性能。在 750~1050°F 温度范围内緩慢冷却則产生脆性。

在特殊情况下, 430 型鋼承受剧烈冷变形如冷