

不锈钢化工设备制造工艺学

И. Д. 雷巴先科 И. З. 卡甘

Л. А. 亞庫包夫斯基 著

化学工業出版社

不 銹 鋼 化 工 設 備 制 造 工 藝 學

И. Д. 雷 巴 先 科

Л. А. 亞庫包夫斯基 著

И. З. 卡 甘

趙 家 琛 譯

化 學 工 業 出 版 社

本書敘述了18-8型奧氏體不銹鋼的性質和分類，在組織成分、晶間腐蝕、合金元素的作用以及耐腐蝕性能方面都有比較詳細的闡述。書內對這種鋼的制造工艺作了充分的討論；概括了化工設備制造的經驗；對各種加工方法，尤其在焊接方面，敘述相當詳細。

本書可供機械工廠的工程技術人員和設計人員參考用。

И. Д. РЫБАСЕНКО

Л. А. ЯКУБОВСКИЙ И. З. КАГАН

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

МАШГИЗ(КИЕВ 1951 МОСКВА)

不銹鋼化工設備制造工艺学

趙家琛譯

化學工業出版社（北京安定門外和平北路）出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第032號

北京市印刷一廠印刷 新華書店發行

開本：850×1168 $\frac{1}{32}$

1957年10月第1版

印張：4 $\frac{1}{2}$

1957年10月第1次印刷

字數：115千字

印數：1—1134

定價：(10)0.90元

書號：15063·0151

目 录

序言	5
第一章 18-8型鋼的性質	6
1. 化学成分和机械性能	6
第二章 18-8型鋼的晶間腐蝕和合金元素对鋼性質的影响	16
1. 18-8型鋼的晶間腐蝕	16
2. 合金元素对 18-8 型鋼性質的影响	21
3. 鋼在各种介質內的耐腐蝕性能	25
第三章 18-8型鋼設備的零件和部件的制造特性	29
1. 零件和部件的制造	29
第四章 18-8型鋼的加工工艺	37
1. 儲存和运输	37
2. 鋼板的划綫、裁料和卷滾	39
第五章 鍛造作業和冲造	48
1. 自由鍛和热冲	48
2. 冷冲	51
3. 底的制造	57
4. 折边和接盤的焊接	60
第六章 机械加工	63
1. 邊緣的切割和刨削	63
2. 車、鑽和銑	64
第七章 裝合作業	69
1. 管子的折边、弯曲和脹接	69
2. 縱向和环向对接縫的裝合	73
第八章 18-8型鋼的焊接	76
1. 电弧焊	76
2. 焊接生产实例	100
3. 钎焊	114
第九章 精整作業	116
1. 热处理	116
2. 清理和酸洗	118

3. 磨光和拋光	120
第十章 焊縫的檢查和試驗	123
1. 焊縫的X光攝影和射綫攝影	123
2. 腐蝕試驗	129
3. 晶間腐蝕試驗	131
第十一章 不銹鋼化工設備製造業的發展远景	141
1. 18-8型鋼的代用品	141
2. 雙層金屬	143
3. 不銹鋼襯里(复面)	144
4. 热熔塑料	147

参考文献

序 言

政府給化学工業提出了任务，要求机器制造者能制造出操作上可靠和具有高生产率的化工設備。

强大的苏联冶金工業現在已能生产大量各种标号的優質鋼。这些鋼的一部分，特別是不銹鋼，具有抗腐蝕能力和高的强度，在化工設備的制造上是优良的材料。

但由于文献中对这些優質鋼設備的制造尚缺乏充分全面的工艺指示，以及許多工厂和安裝工地在安裝設備时所遇到的困难，常造成許多生产性的失敗和貴重材料的浪費。

到目前为止，許多工厂在制造各种特性的優質鋼制品的工艺上所积累的經驗，还没有被适当地收集到技术文献中。

作者給自己提出了这样的任务：將現有的关于制造 18-8 型奥氏体優質鋼制品方面的，以及根据鋼在各种介質和操作条件下的耐腐蝕性能在選擇鋼的标号方面的文献資料和工厂經驗加以綜合和系統化。

因此，作者認為有必要將自己在 18-8 型鋼設備的制造工艺方面的經驗介紹出来，并列关于不銹鋼的加工方面的參考資料。

作者並不認為本書之敘述已很完备，对于有关本書內容上所提出的意見，作者將表示非常感謝。

第一章 18-8 型鋼的性質

1. 化学成分和机械性能

18-8 型 鉻鎳不銹鋼系屬於奧氏體組織的無磁性鋼。這類鋼的特点是兼有高的塑性和良好的機械性能及高的耐腐蝕性能，這類鋼經過熱處理後，屈服限較低——25—40 公斤/公厘²，強度極限為56—75公斤/公厘²，延伸率為45—55%，硬度 $H_B=130-200$ 。

按化学成分來說，18-8 型不銹鋼是很複雜的，組成 18-8 型鋼的主要化學元素為：碳、鉻、鎳和鐵。研究這一類鋼的內部組織的轉變，由於它的化学成分複雜而很困難。因此，要將這一類鋼的所有合金作成單一的狀態圖就成為不可能。

作狀態圖時，在將鐵不列入圖內的條件下應考慮四個變數，即：鉻、鎳、碳和溫度。研究這些合金的唯一方法是在鉻和鎳的含量不變，碳含量和溫度為可變的條件下，作出最典型合金的狀態截面圖。

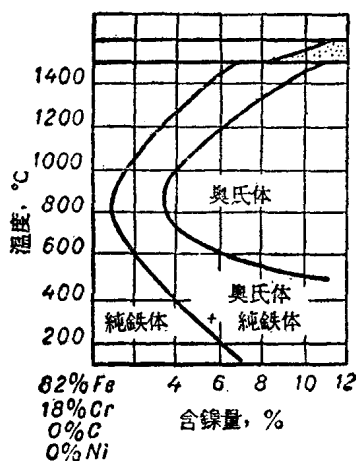


圖 1 鎳對含 18% Cr 鋼的組織之影響

含 18% 鉻的無碳合金是由單相鉻純鐵體的固溶體組成，也就是在鐵的體心立方晶格內的鉻固溶體。這種單相純鐵體組織，在所有溫度下——自室溫至 1400°——都處於平衡狀態。往這種合金內加入鎳，就形成鉻鎳奧氏體的固溶體。這種合金的組織將是由純鐵體和奧氏體的固溶體所組成的雙相組織。圖 1 為含 18% 鉻和不同鎳含量的無碳合金圖。該圖示出在不同鎳含量時，純鐵體

和奥氏体間相态关系的变化。

在含18%鉻和不同鎳含量的合金內，奥氏体組織的形成取决于合金的温度情况。当加入1%鎳时，奥氏体組織仅在800—900°高温时出現。在更高温度或較低温度时，合金均保持單相的純鉄体組織。繼續增加鎳的含量，就使奥氏体組織的領域扩大。当鎳含量达3%时，純鉄体和珠光体*的双相組織在温度500—1180°之間出現。加入鎳量高于3%时，会使双相組織的領域中斷，并当温度为800—900°时，就不再形成第二种相态——純鉄体。在这种情况下，合金將由鉻鎳奥氏体固溶体的單相組織組成。这种組織的稳定性由温度来决定。

从圖1中可看出，在所有情况下，奥氏体的稳定性仅在高温时才能保持。当冷却时，在这种合金的奥氏体組織內就發生相态的轉变，部分奥氏体轉变为純鉄体。当冷却到室温时，这种轉变可能是全部的，或者是部分的，視合金中鎳的含量而定。在室温下將处于平衡状态的奥氏体組織的合金緩慢冷却，会得到由純鉄体或由純鉄体和奥氏体組成的組織。

在含18%鉻和8%鎳的鋼（18-8型鋼）內，若鉻含量变动不大，不致引起純奥氏体組織的变化。但是，由于鉻是屬於能提高純鉄体組織稳定性的元素，因此，在更广的範圍內加入鉻量，都將使鋼組織內出現純鉄体組織的成分。圖2上所示之鉄—鉻—鎳系的三角形状态圖，証实了这一点。圖上 α 点相当于由純奥氏体組織組成的18-8型鋼。圖3上示有鉻鎳鋼的奥氏体組織。降低鉻含量到14%以下或增加到19%以上，將产生奥氏体和純

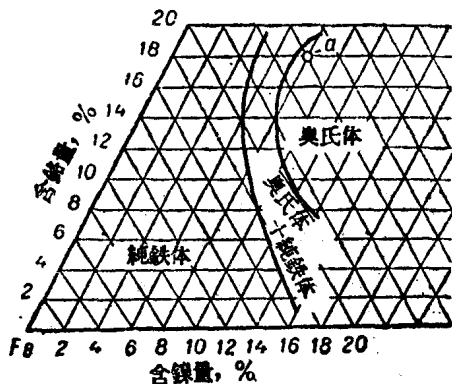


圖2 Fe-Cr-Ni 系統的三角形状态圖

* 应为奥氏体——譯者註。



圖 3 含 18% 鉻和 8% 鎳的鋼之奧氏體組織(放大 900 倍)

鐵體組成的雙相組織。這種組織在鉻含量減低到 11% 時仍然存在。繼續減低鉻含量，將形成純粹鐵體組織的鋼。

在所有的 18-8 型鋼的成分中都具有必要的組份——碳、硅、錳、磷、硫和氮。改變這些組份的含量，使鋼具有各種不同的組織狀態。碳是最重要的元素，就是很低的含量，也會對鋼組織內部相態的轉變起很大的影響。

圖 4 上示有不同含碳量的 18-8 型鉻鎳鋼的狀態圖。根據此圖，可以研究在加熱和冷卻時，

這一類不同含碳量的鋼的相態。在此圖上，相當於選定含碳量的任一點，都代表鋼的成分為 18% 鉻和 8% 鎳，其餘為鐵和碳。例如在相當於碳含量為 0% 的一點上，鋼內含鉻 18%、鎳 8% 和鐵 74%。在相當於碳含量為 1% 的一點上，鋼內含鉻 18%、鎳 8% 和鐵 73%。從圖上可看出，這種鋼的主要相態是奧氏體的固溶體。低溫時，碳在奧氏體固溶體內的溶解度非常有限，僅為 0.02—0.04%。當碳含量達 0.04% 時，所有的碳都處於奧氏體的固溶體內。碳含量大於 0.04% 的鋼，其組織內存在着複雜成分的剩餘碳化物。當加熱時，這些碳化物

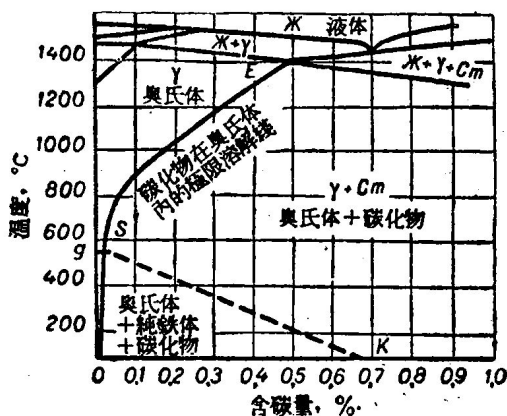


圖 4 18-8 型鉻鎳鋼的狀態圖

就溶解于奥氏体的固溶体内。加热的温度越高，碳化物的溶解过程为时越久。

圖 4 上, SE 綫相当于碳化物在奥氏体内的極限溶解度。随温度提高, 碳化物在奥氏体内的溶解度就迅速增高。碳含量为 0.2% 的鋼, 在温度 1100° 时和碳含量为 0.3% 的鋼, 在温度 1200° 时, 都是由純奥氏体組成的單相組織。在 SE 綫以上, 鋼的組織將由單相鉻鎳奥氏体的固溶体組成。当緩慢冷却时, 剩余的碳就从鋼内离析出来, 形成复杂的碳化物。这种剩余碳的离析作用随加热温度和冷却速度而变化。

在 SE 綫以下, 鋼是由奥氏体和碳化物的組織組成。繼續緩慢地冷却, 純鉄体組分將由奥氏体内离析出来。純鉄体相态系呈延伸的并和奥氏体晶粒相交的纖維形狀存在于奥氏体内(圖 5)。在圖 4 上, SK 綫相当于奥氏体轉化为純鉄体的界綫, 在此綫以下, 鋼的組織將由奥氏体、純鉄体和碳化物組成。在此种情况下, 鋼内碳含量越少, 純鉄体將越多。这是由于碳是属于能提高奥氏体組織稳定性的元素。因此, 在 18-8 型鋼内增加碳含量, 可以扩大奥氏体存在的領域, 而減少純鉄体的数量。

將碳含量为 0.1% 的鋼加热到 SE 綫以上, 并达到温度 1450° 时, 鋼將由單相的鉻鎳奥氏体組織組成。从温度 1450° 处开始緩慢冷却, 溶解于奥氏体内的碳就在 SE 綫上从固溶体内分解出来, 形成 Fe_3C 、 Cr_7C_3 、 Cr_23C_6 成分的鉄和鉻的复杂碳化物。分解出的碳化物主要是沿着奥氏体的晶界上分布, 它們呈現为不同尺寸的短片或圓粒的形狀。碳化物从固溶体内分解的过程一直延續到 SK 綫。这样

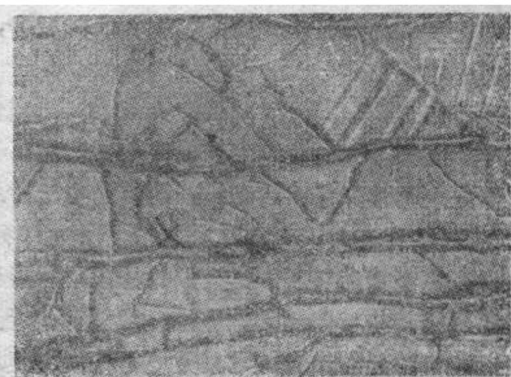


圖 5 18-8 型鋼內的純鉄体

冷却的鋼的組織將由奧氏體、純鐵體和碳化物組成。如果這種鋼重新被加熱到高于奧氏體內碳飽和綫以上的溫度，則所有的碳化物又回到奧氏體的過飽和固溶體內。

由此可見，緩慢地冷却碳含量為0.1%的鋼，會引起形成複雜的碳化物，並使奧氏體分解為奧氏體和純鐵體。從高溫下將鋼迅速冷却，則可獲得純奧氏體組織。在這種情況下，由於迅速越過奧氏體內碳的飽和綫而到達 SK 綫，使碳化物來不及離析出來，因而奧氏體的過飽和固溶體得以保持，而不出現碳化物。這種為了避免在18-8型鋼的組織內出現碳化物，和借快速冷却來穩定奧氏體的過飽和固溶體的热處理方法，稱為淬火。在低溫時，由於碳和鉻的擴散非常微小，就沒有從固溶體內析出碳化物的現象。所以奧氏體的過飽和固溶體是穩定的。這種穩定性在加熱到溫度 500° 時仍然能保持，高于此溫度時，碳化物就會析出。加熱時，碳化物的離析過程一直延續到溫度為 850° 時，即相當於 SE 綫。

由上可見：自 500 到 850° 的溫度間隔，相應為碳化物的離析範圍。這一碳化物離析的間隔，隨鋼內碳含量不同而變化。碳越少，則此溫度間隔也越小；碳含量增高，溫度間隔亦隨之增大。

從圖4可看出，將碳含量不大於0.04%的鋼加熱到溫度 500 — 850° ，並不會使碳化物析出。當碳含量增加到0.04%以上時，碳化物便隨着析出。此時，鋼內的碳越多，析出的碳化物數量也越多。

在 500 — 850° 的溫度間隔範圍內，碳化物的析出特性取決於加熱情況。當加熱到下極限溫度（即稍高于 500° ）時，碳化物離析出來成為非常小的顆粒，同時在奧氏體的晶粒內部和沿晶粒界上分佈。甚至放大到1000倍，在顯微鏡下研究這些碳化物的金相時，也很難加以識別。長期保持在下極限溫度的範圍內，會使晶界上的某些碳化物顆粒變粗。加熱到接近上極限溫度 850° 時，將得到粗粒的碳化物，它們主要是在沿着奧氏體的晶界上分佈。

碳化物在沿奧氏體的晶界上形成，對鋼的機械性能有直接影

响。当所有的碳化物都处于固溶体内时，变更鋼内碳的含量，对鋼的机械性能影响不大。析出的碳化物改变了奥氏体晶界上的机械强度，降低鋼的塑性和冲击韧性。这一点可从增加碳含量，冲击韧性的降低就增大的现象上得到证实。但增加碳的含量，将会提高硬度和强度极限。碳含量高的鋼，在热态时会使可塑性能减低。这种减低现象是与碳化物的不断析出相联系的。鋼内碳含量越高，塑性的减低也越大。

奥氏体铬镍鋼的塑性状态在各种温度下是不同的。室温时，它具有最大的塑性。随温度的增高，鋼的塑性就减低。塑性最大的减低发生在温度 $500-850^{\circ}$ 的范围内。鋼加热到这个温度时，就出现仅在該温度下所特有的脆性。这种脆性，只有在將鋼加热到相当于脆性范围的温度内进行試驗时，才能发现。將鋼加热到温度 $500-850^{\circ}$ ，并保持相当长的时期，在冷却后进行試驗时，鋼内就不再出现脆性。

消除 18-8 型鋼的脆性，可以用高温淬火来达到。在这种情况下，因析出的碳化物为数極微，故能得到最小的硬度和最大的塑性。

热处理的条件在很大程度上影响到铬镍奥氏体鋼的机械性能的变化。圖 6 上示有在不同热处理条件下，不同碳含量的 18-8 型鋼的机械性能特性线（根据希摩兴氏 Химушин 的数据）。从这些圖上可看出，在所有的加热和随后淬火的情况下，鋼的强度极限、屈服限和硬度都有所减低。此时，屈服限和硬度数值减低的速度大致相同，它与鋼内碳的含量并無显著的关系。随淬火温度的增高，使屈服限的减低大为减慢。在硬度大大降低的同时，延伸率就增加。

这样，淬火的結果使 18-8 型鋼不再具有硬性。从圖 6 上可以看出，在構成相当大的范围内的各种温度下进行淬火，这种鋼的硬度在所有情况下都急剧的降低。此时，淬火时的加热温度越高，鋼的硬度就越小。这一种经过淬火后的鋼的状态是奥氏体組織。由此获得的奥氏体在加热到温度 $450-500^{\circ}$ 时是稳定的。自

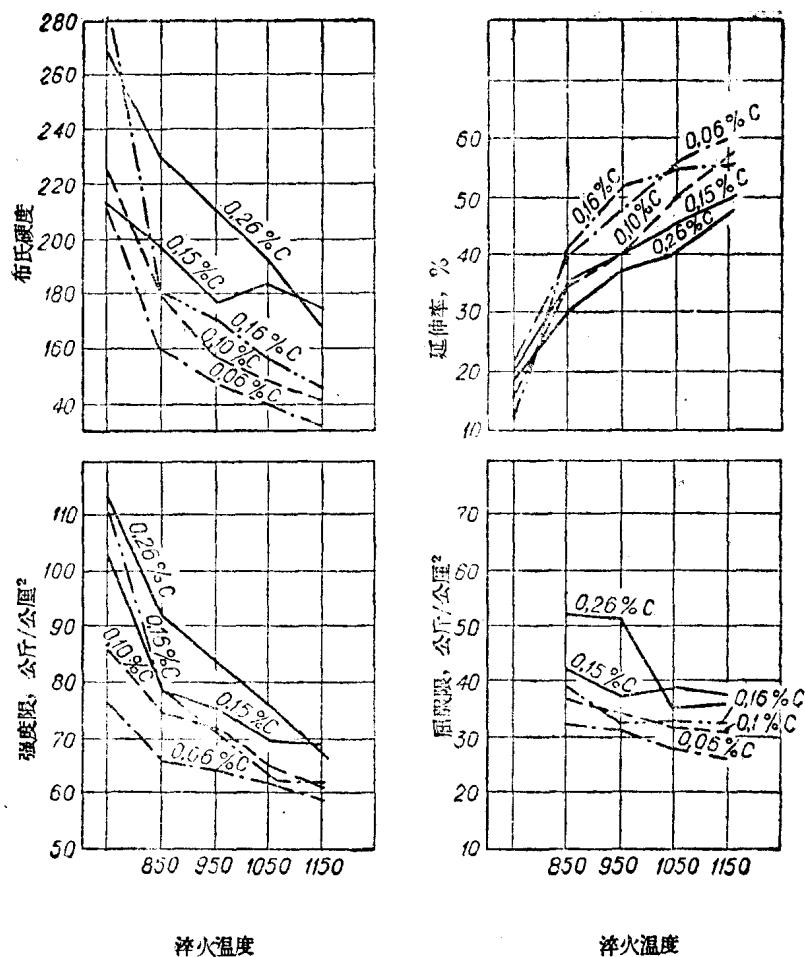


圖 6 根据热处理条件的不同 18-8 型鋼的机械性能的变化

此温度起到870°就形成碳化物相态。

具有純奧氏体組織的鋼是無磁性鋼。冷态变形时，奧氏体組織是不稳定的，它將分解为奧氏体和純鉄体。鋼內存在有純鉄体相态，就会使鋼的强度減低，并帶有磁性。那些处于冷硬化状态下的鋼很容易被磁鉄所吸引。純鉄体在冷态变形时形成，是由于鋼內有高的内应力的結果。增高内应力將加速純鉄体的形成。在

表 1

18-8 型鋼的化学成分

鋼的 標 号	化 学 成 分 %									
	碳 C	硅 Si	锰 Mn	硫 S	磷 P	铬 Cr	镍 Ni	鈦 Ti	鉭 Nb	鉬 Mo
Я0	≤0.07	0.3—0.8	0.3—0.7	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—10	—	—	—
Я1	≤0.15	0.3—0.8	0.3—0.7	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—10	—	—	—
Я2	0.15—0.25	0.3—0.8	0.3—0.7	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—10	—	—	—
ЯТ	≤0.12	0.3—0.8	0.3—0.7	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—10	0.45—0.80	—	—
ЭИ402	0.09—0.10	≤0.9	≤1.0	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	9—13	—	0.9—1.0	—
ЭИ183	≤0.12	≤0.9	≤0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	16—19	8—11	—	—	3—4
ЭИ400	0.07	0.8	0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—11	—	—	2—3
ЭИ401	≤0.12	≤0.9	0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—11	0.45—0.80	—	3—4
ЭИ403	≤0.10	0.8	0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	17—20	8—11	—	0.9—1.0	2—3
ЭИ448	≤0.12	≤0.9	≤0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	16—19	9—13	0.45—0.80	—	2—3
ЭИ171	≤0.12	≤0.9	≤0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	16—19	9—13	0.45—0.80	—	2—2.8
ЭИ432	≤0.12	≤0.9	≤0.9	0.02—0.03	0.02—0.03	16—19	9—13	0.45—0.80	—	3—4

变形过程中，鋼的强度極限提高了，而塑性則降低了。利用冷态变形的办法，可以得到强度極限高达 150 公斤/公厘² 的 18-8 型鋼，但同时延伸率却显著地降低了。

上述的 18-8 型不銹鋼的特性要求在对它加工时采取特殊的工艺过程。

所有 18-8 型鉻鎳鋼，在它的成分中均含有 16—20% 的鉻和 8—14% 的鎳。表 1 上示有那些在化工設備制造上有广泛用途的 18-8 型鋼的化学成分。

根据化学元素的含量，所有列于表 1 中的鋼可以分为二組：

1) 沒有特殊附加成分的鋼；2) 有特殊附加成分的鋼。

鋼 Я0、Я1、Я2 属于第一組。其他标号的鋼属于第二組。它們都含有附加的鈦、鋳、鉬和鋁及鈦、或鉬及鋳。

所有标号的鋼（表 1）都具有碳含量低的特征——自 0.07—0.25%。更高的碳含量將对鋼在焊接时和加热时的性質产生不良

18-8 型鋼的机械性能

表 2

鋼 的 标 号	机 械 性 能			
	强度極限 σ_B , 公斤/公厘 ²	屈 服 限 σ_S , 公斤/公厘 ²	延 伸 率 $\delta, \%$	硬 度 H_B
Я0	55—70	22	35—50	140—175
Я1	55—70	25	35—50	150—180
Я2	58—85	25	35—50	160—200
Я1Т	54—75	25	35—45	150—185
ЭИ402	55—75	25	35—55	150—185
ЭИ183	55—65	38—45	40—45	150—185
ЭИ400	55—60	35—40	40—50	150—175
ЭИ401	55—65	35—40	40—55	150—170
ЭИ403	55—60	35—40	40—55	150—175
ЭИ448	60—75	35—40	45	150—185
ЭИ171	54—65	35—40	35—50	150—180
ЭИ432	55—65	35—40	35—50	150—180

的影响——引起鋼的晶間腐蝕傾向。

將鋼Я0、Я1和Я2三者相比，碳含量最少的鋼Я0对晶間腐蝕的傾向最小。鋼Я2的碳含量达0.25%，因而它的晶間腐蝕傾向也最大。

在焊接过程中，鋼Я1、Я2和ЭИ183受到高温加热，由于鋼內有碳化鉻析出到晶界上，在其焊接区域內就引起强烈的晶間腐蝕。为了避免这种現象，必須对这种鋼的焊縫进行必要的热处理。碳含量在0.07%以下的鋼并不受晶間腐蝕的作用，故其焊縫不需热处理。以表1中的有附加的鈦、鎳和鉍合金元素的鋼制成的焊接部件，它們的焊縫也不需热处理。

表2上示有經過热处理的鉻鎳鋼的机械性能。这种鋼的机械性能特征是：抗拉强度極限不高，延伸率高和硬度較低。所有不

18-8 型鋼的物理性質

表 3

物 理 性 質	鋼 的 標 号			
	Я0	Я1, Я2	Я1Т ЭИ402	ЭИ183, ЭИ400, ЭИ401, ЭИ403, ЭИ448, ЭИ171, ЭИ432
比重, 克/公分 ³	7.9	7.9	7.9	7.9
熔点, °C	1450	1400	1400	1400
比热, 卡/克·度	0.12	0.12	0.12	0.12
100°时的导热率, 卡/公分·度·秒	0.04	0.04	0.04	0.04
20°时的比电阻, 欧姆·公厘 ² /公尺	0.73	0.73	0.73	0.73
溫度在 100° 以內时的平均綫膨脹系数, $\alpha \times 10^{-6}$	16.0	16.0	16.6	16.2
氧化皮强烈形成时的溫度, °C	850	850	850	850

含鉬合金的鋼，其屈服限介于22—25公斤/公厘²之間。含鉬合金的鋼具有高的屈服限——达45公斤/公厘²。

所有示于表 1 中的鋼都有高的冷硬化的趋向，在此种状态下，鋼的机械性能將被提高。

18—8 型鉻鎳不銹鋼的物理性質示于表 3 中。

第二章 18-8型鋼的晶間腐蝕和合金元素对鋼性質的影响

1. 18-8型鋼的晶間腐蝕

18-8型鋼加热到温度不超过 500°C 时，碳的扩散能力很小。从温度 500° 开始，碳扩散到奥氏体晶界上的現象就显著地增加。位于奥氏体晶界上的碳，它本身是碳化物的强烈生成剂，就与最易形成碳化物的元素結合起来。在一般 18-8 型奥氏体不銹鋼內，最易形成碳化物的元素是鉻。

加热到相当于碳化物从富鉻鎳的固溶体中析出的温度範圍內，富鉻碳化物 Cr_7C_3 、 Cr_4C 的形成具有非常重要的意义。化学分析指出，这类碳化物含鉻量达70—90%。由此得出結論：形成碳化鉻需要少量的碳和数量非常大的鉻。

当扩散到晶粒周界上的碳和鉻达到必需数量时，奥氏体晶界上就形成碳化鉻。当在碳化物析出的温度範圍內时，鉻的扩散速度比碳小得很多，到达碳化物形成的时刻，从全部晶粒体积內扩散到边界上的鉻还来不及达到必需的数量。其結果是：碳化物的形成使相鄰的晶粒表面發生缺鉻現象。缺鉻的晶粒表面所含的鉻量已不再为保証良好耐腐蝕性能所必需的 18%，而是大大地減少了，降低到12%或更低。

这样，由于碳化鉻在奥氏体晶界上析出的結果，使位于碳化物顆粒周圍区域内的鋼具有低的耐腐蝕性能。强腐蝕性介質就在