

《化工生产的腐蚀和防护》丛书

第 八 册

不锈钢及其耐腐蚀性

A·A·巴巴科夫著

殷勤译

中国工业出版社

《化工生产的腐蚀和防护》丛书

第 八 册

不 锈 钢 及 其 耐 腐 蚀 性

巴巴科夫著

勤 译

常 等 校

江苏工业学院图书馆
藏书章

中 国 工 业 出 版 社

“化工生产的腐蚀和防护”編輯委员会：B·C·基西列夫(主編)，И·Я·克里諾夫，B·И·克魯齊宁，K·A·波略科夫和Г·B·薩加拉耶夫(副主編)。

本书介紹不銹鋼、耐酸鋼和抗氧化鋼的主要性能；敘述鋼制件在侵蝕性介质中腐蝕破坏的各种类型和热处理时对各种牌号鋼的耐腐蝕性的影响。此外，本书还簡略地敘述了不銹鋼和耐酸鋼的焊接問題，并以表格形式列出这类鋼在各种侵蝕性介质中的耐蝕性等級。

本书可供化学、石油、食品及冶金工业部門的技术人員、設計人員和生产人員参考。

本书譯者为殷勤同志；校者为华东化工学院金属工学教研組，参加工作的有胡紹华、麻启承、湯胜常同志。

《КОРРОЗИЯ В ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ
И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ》

ВЫПУСК 8

НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ
СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ
В РАЗЛИЧНЫХ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

А. А. БАБАКОВ

ГОСХИМИЗДАТ·МОСКВА·1956

* * *

《化工生产的腐蚀和防护》丛书

第 八 册

不銹鋼及其耐腐蝕性

殷 勤 譯

湯胜常等 校

*

化学工业部图书編輯室編輯(北京安定門外和平北路四号楼)

中国工业出版社出版(北京佳麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168¹/₃₂·印张3¹⁵/₁₆·字数106,000

1963年5月北京第一版·1963年5月北京第一次印刷

印数0001—2,847·定价(10-6) 0.64元

*

統一书号：15165·2028(化工-178)

目 录

編者的話	4
序	6
1. 概論	7
2. 不銹鋼的主要組織特性	8
鉻对鉄組織的影响	9
鎳对鉄鉻合金組織的影响	10
3. 不銹鋼的鈍化現象及氧化膜理論	15
4. 不銹鋼的热处理与其对耐蝕性的影响	19
鉻不銹鋼与抗氧化鋼	19
奧氏体类鉻鎳不銹鋼和耐酸鋼	27
5. 1X18H9T 鋼的稳定退火及其对耐蝕性的影响	34
6. 鉻鎳鋼的晶間腐蝕	39
7. 含鉻不銹鋼的晶間腐蝕	46
8. 不銹鋼的点腐蝕	48
9. 应力腐蝕	50
10. 縫腐蝕	52
11. 气体腐蝕	52
12. 不銹鋼的焊接	64
13. 耐硫酸溶液腐蝕的鋼	70
14. 主要牌号的不銹鋼、耐酸鋼和抗氧化鋼的特性	74
15. 鋼的化学成分、物理性能、工艺性能及其用途	86
16. 鋼在各种介质中的耐蝕性的評級	87
参考文献	124

《化工生产的腐蚀和防护》丛书

第 八 册

不 锈 钢 及 其 耐 腐 蚀 性

A·A·巴巴科夫著

殷 勤 译

湯 胜 常 等 校

中 国 工 业 出 版 社

“化工生产的腐蚀和防护”編輯委员会：B.С.基西列夫(主編)，И.Я.克里諾夫，B.И.克魯齐宁，K.A.波略科夫和Г.В.薩加拉耶夫(副主編)。

本书介绍不銹鋼、耐酸鋼和抗氧化鋼的主要性能；叙述鋼制件在侵蚀性介质中腐蚀破坏的各种类型和热处理时对各种牌号鋼的耐腐蝕性的影响。此外，本书还簡略地叙述了不銹鋼和耐酸鋼的焊接問題，并以表格形式列出这类鋼在各种侵蚀性介质中的耐蝕性等級。

本书可供化学、石油、食品及冶金工业部門的技术人員、設計人員和生产人員参考。

本书譯者为殷勤同志；校者为华东化工学院金属工学教研組，参加工作的有胡紹华、麻启承、湯胜常同志。

《КОРРОЗИЯ В ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ
И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ》

ВЫПУСК 8

НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ
СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ
В РАЗЛИЧНЫХ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

А. А. БАБАКОВ

ГОСХИМИЗДАТ·МОСКВА·1956

* * *

《化工生产的腐蚀和防护》丛书

第 八 册

不銹鋼及其耐腐蝕性

殷 勤 譯

湯胜常等 校

*

化学工业部图书編輯室編輯(北京安定門外和平北路四号楼)

中国工业出版社出版(北京佳麟園路西10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168¹/₃₂·印张3¹⁵/₁₆·字数106,000

1963年5月北京第一版·1963年5月北京第一次印刷

印数0001—2,847·定价(10-6) 0.64元

*

統一书号：15165·2028(化工-178)

目 录

編者的話	4
序	6
1. 概論	7
2. 不銹鋼的主要組織特性	8
鉻对鉄組織的影响	9
鎳对鉄鉻合金組織的影响	10
3. 不銹鋼的鈍化現象及氧化膜理論	15
4. 不銹鋼的热处理与其对耐蝕性的影响	19
鉻不銹鋼与抗氧化鋼	19
奧氏体类鉻鎳不銹鋼和耐酸鋼	27
5. 1X18H9T 鋼的稳定退火及其对耐蝕性的影响	34
6. 鉻鎳鋼的晶間腐蝕	39
7. 含鉻不銹鋼的晶間腐蝕	46
8. 不銹鋼的点腐蝕	48
9. 应力腐蝕	50
10. 縫腐蝕	52
11. 气体腐蝕	52
12. 不銹鋼的焊接	64
13. 耐硫酸溶液腐蝕的鋼	70
14. 主要牌号的不銹鋼、耐酸鋼和抗氧化鋼的特性	74
15. 鋼的化学成分、物理性能、工艺性能及其用途	86
16. 鋼在各种介质中的耐蝕性的評級	87
参考文献	124

編者的話

金屬的腐蝕會給國民經濟帶來巨大的損失。試驗研究和概略的統計表明，在採用有效的防腐蝕方法之前，每年所生產的金屬，幾乎有三分之一由於受到液態和氣態侵蝕性介質的化學性破壞作用，而無可挽回地損失掉。

在化工生產中，由於所用的反應物料和制成品具有侵蝕性，所以金屬的使用期限最為短促。腐蝕尤其會縮短在高溫下操作的設備和管道的使用期限；有時，某一設備的器壁被腐蝕，那怕是次要的，也會造成全部管綫或整套設備被迫停產。

近年來，出版了一系列關於腐蝕理論和耐化學腐蝕材料生產的著作，但是在選擇適當的耐腐蝕材料和延長受侵蝕性介質作用的設備的使用期限方面，實用的指導文獻尚感不足。

為了彌補這方面的不足，蘇聯化學科技文獻出版社於1955年開始出版一套總稱為“化工生產的腐蝕和防護”的叢書。

這套叢書共分三部分。第一部分討論以下各化工生產部門的設備和管道的腐蝕問題：硫酸，磷肥，氨和銨鹽，硝酸，鹽酸，中間體和染料，有機酸，合成橡膠和酒精、氯、燒鹼、漂白粉以及含氯的有機產品。這一部分各冊分別研究了每種生產中最常見的幾種腐蝕，指出了預防的措施和採用的防腐蝕方法，並且對它們作了評比。

第二部分的內容是敘述廠房和建築結構腐蝕的種類及防止各種侵蝕性介質腐蝕的方法。

第三部分各冊介紹的是最常用的幾種耐化學腐蝕材料的性能，其中有：不銹鋼及其他金屬和合金，耐酸硅酸鹽水泥和混凝土，法奧利特，硬聚氯乙烯塑料，在普通條件下硬化的複合物，聚異丁烯，橡膠和硬質橡膠，瀝青和柏油，石棉二乙烯乙炔塑料，木材，非金屬導熱材料，油漆塗料，衬料和填料，過濾材料。

除此以外，有幾冊還分別介紹了各種保護方法（陰極保護、複合衬里等）。

整套丛书全部出版后，将成为化工生产工作者的一部相当完备的关于各种生产中的防腐蝕問題以及某些材料的性能和应用技術問題的实用参考书。

編者請讀者閱讀后提出意見和建議，以供編纂出版丛书的以后各册时参考。

序

掌握不銹鋼、耐酸鋼和抗氧化鋼的生產，在發展蘇聯的國民經濟事業中，特別是在化學、石油、食品和機器製造工業以及其他許多工業部門中起着特別重要的作用。這就有可能使鋼制的設備、鍋爐、管道及所有經受侵蝕介質作用的容器及結構的腐蝕破壞速度，在許多情況下減低到極其微小的程度。

設計這類設備的設計人員和製造設備的生產人員，在選擇所用的鋼時，不僅要考慮到鋼的化學成分和機械性質，而且還要考慮到其組織特性和可焊性，而更重要的是需要考慮到鋼在相應介質中的耐腐蝕性。

本書介紹了主要合金鋼的特性（化學成分、機械性能、工藝性能和耐蝕性等），並敘述了各種類型的腐蝕（晶間腐蝕、點腐蝕、縫腐蝕、氣體腐蝕和應力腐蝕）。本書辟專章闡述了不銹鋼的熱處理及其對腐蝕現象的影響，以及這類鋼的焊接問題及其在高溫時的機械性能。

本書末，尚載有關於不銹鋼、耐酸鋼和抗氧化鋼在各種不同濃度的液體和氣體介質中的耐蝕性的概要資料。

書中各表是由 E.B.卓托娃在作者的統一指導下編制的，T.A.扎坦也參加了這一工作。

在編制各表時，利用了實驗室的資料、經驗數據和生產上的數據，以及書刊中發表的資料。

A.A.巴巴科夫

1. 概 論

腐蝕過程之所以產生和發展，主要是由於金屬或合金的不均勻性所引起的，因為在不均勻的金屬表面上形成微電池，從而使金屬在有電解質存在的條件下溶解。

要使鐵基合金在一定的介質中具有高的化學穩定性，就必須加入能與鐵形成固溶體並在該介質中具有高穩定性的元素。例如，加入鉻的鋼便具有足夠高的抗硝酸的穩定性。

耐蝕合金大半都是單相的（鉻鎳鋼、鉻鋼和大多數銅鎳合金等）。

如果必須向合金中加入新的組分，那麼，它的電極電位以及腐蝕性能都必須非常接近於基本固溶體的性能。

具有鉻溶於鐵的固溶體（鉻鐵素體或 α -固溶體），和鉻的碳化物組織的鐵鉻合金，具有碳化鈦的奧氏體類鉻鎳鋼（ γ -固溶體）等，都能滿足這種要求。

但是，為了製備高化學穩定性的合金，僅僅具有均勻性還是不夠的。另外，合金還必須有足夠高的電極電位，否則就可能會與溶液中的陽離子發生置換反應。

最可能產生的陽離子是氫，當氫發生置換反應時，形成腐蝕破壞。只有在下列情況下鋼才能具有高的電位，即在一定條件時，鋼處於鈍化狀態，也就是由於在一定條件下金屬表面上形成比原鋼具有更高的化學穩定性的氧化物或鹽類而抑制了陽極的溶解過程。

因此，在選擇加入鋼中的合金元素時，必須力求所獲得的合金具有良好的均勻性（最理想的是單相）和在大多數介質中呈鈍化狀態。

腐蝕種類可分為下列幾種（ГОСТ 5272—50）：

1) 均勻腐蝕，即在金屬表面上出現各部分的腐蝕速度大致相同的連續性破壞；

2) 非均勻腐蝕，即在金屬表面各部分具有不同速度的連續性破壞；

3) 局部腐蝕，即僅金屬表面某些區域產生腐蝕；局部腐蝕又分

为点腐蚀（呈一个个的点状）和斑点腐蚀（呈一个个的斑点状）；

4) 晶間腐蚀，即分布在金属粒晶界上的腐蚀；

5) 应力腐蚀，即在侵蚀介质和应力同时作用下所引起的腐蚀。

2. 不銹鋼的主要組織特性

各种元素根据它們与鉄所形成二元系的影响不同而区分为两类：属于第一类的元素是那些加入鉄中能扩大奥氏体固溶体（ γ -固溶体）区域的元素。这一类元素有錳、鎳和鈷等，它們能与鉄形成无限固溶体。碳、氮和銅也是奥氏体形成元素，但是，它們由于会析出剩余相而限制了 γ -固溶体区域。

属于第二类的元素是那些能促进与鉄生成鉄素体固溶体（ α -固溶体）的元素，例如鉻、鈮、鈦、鈮、鉬、鎢、硅和鋁等。

鉴于元素具有能扩大或縮小 γ -区域的性能，因而使我們能作出有实际意义的重要結論。将奥氏体形成元素 Mn、Ni 和 Co 加入鉄-碳（Fe-C）合金中，就能扩大 γ -区域而且在室溫下保持下来。奥氏体的可貴性能是塑性高、可焊性良好和在冷变形下具有高的机械性能；此外，奥氏体具有順磁性。如果将能縮小 γ -区域的鉄素体形成元素加入碳-鉄合金中去，就能依加入这些元素的数量为轉移而获得許多中間組織，首先是馬氏体，最后是鉄素体。

鉄素体类合金比奥氏体类合金具有較低的塑性，而在冷塑性变形下所增加的机械强度較小，但延伸率則大大降低。这种合金具有較强烈的再結晶性能（在加热到高温时的晶粒长大），并且这一过程是在比奥氏体类鋼更低的温度下进行的，而冲击韌性（ α_k ）也显著下降。

鋼中的主要杂质是碳，因此加入碳化物形成元素就使固溶体晶組織产生重大的改变。

碳化鉻，特別是碳化鈦和碳化鈮，其特点是化学稳定性高（但比碳化鈮和碳化鉬稍低），它們在加热时很难溶入奥氏体；鉻的碳化物能提高鋼的淬火特性，同时却降低了临界冷却速度。

鉻对鉄組織的影响

上面已經提出，鉻能縮小 γ -区并且与鉄生成鉄素体类的无限固溶体 (α -固溶体)。

在 Fe—Cr 合金中，当鉻含量約为13%时，奥氏体固溶体 (γ -固溶体) 区域 (图1) 閉合。

已經查明，当緩慢冷却到溫度800°左右时，鉻含量很大 (30—60%) 的合金，会析出新的順磁性相 (金属間相)，这种相称之为 σ -相，它是鉄与鉻的化合物 (含48.2%鉻)； σ -相在高温时溶于固溶体内，而在緩慢冷却时析出。析出的金属間化合物会使合金的硬度增加，同时使体积显著增加，因而常常使金属产生裂縫。

在工业用的鉄鉻合金中， σ -相区域介于鉻含量为30—55%之間，并且 $\alpha + \sigma$ 和 σ 区域的界綫向鉻含量較低的方面比向鉻含量較高的方面傾斜得多。

由鉄-鉻状态图 (见图1) 看出，鉄与鉻可形成三类合金：具有相变的合金 (区域1)，无相变的合金 (区域2) 和具有部分相变的合金 (区域3)。縮小的 γ -区域的双綫 (具有部分相变) 表明，当由 γ -区域向 α -区域过渡时，生成由 α 和 γ 两种固溶体所組成的多相混合物，并且 γ -固溶体在以后冷却时会进一步分解，而形成許多中間組織，但是 α -固溶体則无轉变。

沒有 γ -轉变的鉄鉻合金称之为鉄素体合金，而具有部分相变的合金則称之为半鉄素体合金。

在具有部分相变的合金中加入少量的碳，就会对其組織产生极大

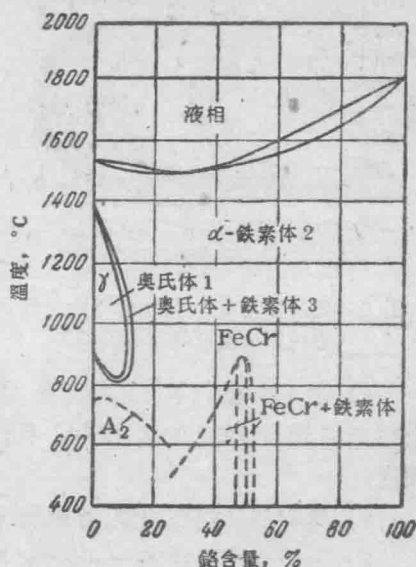


图1 鉄-鉻系状态图 (貝因和埃邦)

的影响，这种合金属于珠光体-馬氏体类。

不含碳的鉄鉻合金当含鉻量約 13% 时就已变成单相。在鉄鉻合金中随着碳的加入， γ -区域可能向含鉻量更多的方面扩展。

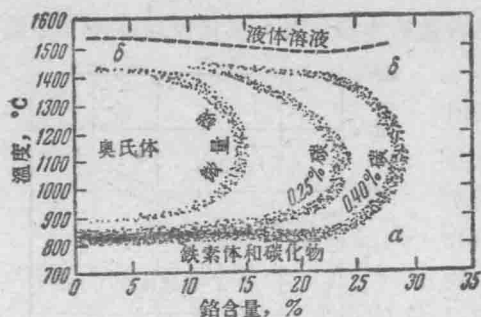


图 2 鉄鉻合金中 γ -区域的位置与碳含量的关系 (根据貝因的资料)

由图 2 的状态图可看出，鉄鉻合金中 γ -区域的位置在不同碳含量时的变化。 γ -区域向着鉻含量高的方向扩展的原因是，碳化物 Cr_7C_3 特别是 Cr_{23}C_6 (Cr_4C) 与大部分的鉻化合，因此随着鉄鉻合金中碳的加入，固溶体中鉻的含量就减少。

实际上应用的有下列几种含鉻不銹鋼：

1) 含 13% 鉻 (X13) 并有各种碳含量的鋼，由于这些鋼位于完全相变和部分相变的区域内，因此它們在淬火时可能获得很高的硬度；

2) 具有部分相变的鋼(半鉄素体合金)，例如含 17% 鉻的 X17 鋼；

3) 无相变的而含 25—30% 鉻 (X25—X28) 的鋼 (鉄素体合金)。

表 1 中載有最常用的各种含鉻不銹鋼及抗氧化鋼的化学成分。

鎳对鉄鉻合金組織的影响

加鎳于鉻不銹鋼中，对其組織及腐蝕性能均有重大的影响。

图 3 为鉄鉻鎳合金的組織图，由該图可知，当鎳含量为 8% 和鉻含量为 18% 时，最易获得奥氏体鋼。

鎳是提高金属耐腐蚀性的合金元素，它在具有这类性能的金属中占首要的地位。

鎳在干的和湿的大气中或在水中都很稳定。碱类、盐类的水溶液和大多数有机酸实际上对鎳沒有腐蝕作用。鎳对于低浓度硫酸的作用具有很高的抗力，并且含鎳的鉄合金也具有这种性能。

由于許多研究的結果，制成了下列一些新牌号的鋼：X18H28M3Д3 (ЭИ530)，X23H23M3Д3 (ЭИ533) 和 X23H28M3Д3 (ЭИ629)。这些牌号的鋼含有較高的鎳量，目前已在化学工业上获得了应用。

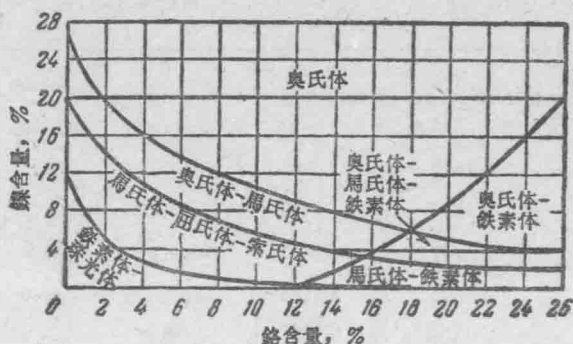


图 3 铁铬镍合金的组织图 (根据毛厄和希勒的资料)

含铬不锈钢中加入必要数量 (2—3% 之間) 的镍，能降低鋼的轉變临界速度，使之由铁素体类变为馬氏体类。

含 0.12% 碳、17% 铬和 2% 镍的 X17H7 牌号鋼是典型的馬氏体类鋼。

图 4 所示为各种不同含镍量的 18% 铬合金的组织组成物。在含镍量不大时，生成两相的奥氏体-铁素体組織，繼而过渡到奥氏体。

在探索奥氏体类的铬镍鋼时，利用了镍能扩大 γ -相区域这一卓越的性能，以 18% 铬和 9% 镍为基的鋼 (X18H9) 获得了最广泛的应用。

图 5 所示的为含 18% 铬和 8% 镍的鋼在不同含碳量时的組織图。X18H8 鋼的主要相是奥氏体。碳 (碳化物) 的溶解度决定于 SE 曲线。由图 5 看出，随着鋼中碳含量的增高，要使碳化物溶于奥氏体固溶体，需要提高金属的加热温度。

奥氏体鋼具有高的塑性、冲压性和良好的可焊性。

以 X18H8 (18% 铬和 8% 镍) 为基的奥氏体铬镍鋼，由于它具有高的化学稳定性和良好的机械性能，因而在化学工业上获得了广泛的应用。

鋼 的 名 稱	鋼 的 牌 號		化		
	按 ГОСТ 5632-51	“電爐鋼” 工廠	碳	硅	錳
鉻 鋼	1X13	ЭЖ1	≤ 0.15	≤ 0.6	≤ 0.6
“	2X13	ЭЖ2	0.16—0.23	≤ 0.6	≤ 0.6
“	3X13	ЭЖ3	0.25—0.34	≤ 0.6	≤ 0.6
“	4X13	ЭЖ4	0.35—0.45	≤ 0.6	≤ 0.6
“	X17	ЭЖ17	≤ 0.12	≤ 0.8	≤ 0.7
“	X25	ЭИ181	≤ 0.20	≤ 1.0	≤ 0.8
“	X28	{ ЭИ349 ЭЖ27	≤ 0.15	≤ 1.0	≤ 0.8
“	X18	ЭИ229	0.9—1.0	≤ 0.8	≤ 0.7
鉻 鎳 鋼	0X18H9	ЭЯ0	≤ 0.07	≤ 0.8	≤ 2.0
“	1X18H9	ЭЯ1	≤ 0.14	≤ 0.8	≤ 2.0
“	2X18H9	ЭЯ2	0.15—0.25	≤ 0.8	≤ 2.0
“	X17H2	ЭИ268	0.11—0.17	≤ 0.8	≤ 0.8
“	X23H13	ЭИ319	≤ 0.20	≤ 1.0	≤ 2.0
“	X23H18	ЭИ417	≤ 0.20	≤ 1.0	≤ 2.0
鉻 鈦 鋼	X25T	ЭИ439	≤ 0.15	≤ 1.0	≤ 0.8
鉻 鎳 硅 鋼	X20H14C2	ЭИ211	≤ 0.20	2.0—3.0	≤ 1.5
“	X25H20C2	ЭИ283	≤ 0.20	2.0—3.0	≤ 1.5
鉻 鎳 鈦 鋼	1X18H9T	ЭЯ1T	≤ 0.12	≤ 0.8	≤ 2.0
鉻 鎳 鈮 鋼	X18H11B	{ ЭИ398 ЭИ402	≤ 0.10	≤ 1.0	≤ 2.0
鉻 錳 鎳 鋼	X13H4Г9	ЭИ100	0.15—0.30	≤ 0.8	8.0—10.0
鉻 鎳 鉬 鋼	X18H12M2T	{ ЭИ171 ЭИ448	≤ 0.12	≤ 0.8	≤ 2.0
“	X18H12M3T	{ ЭИ183 ЭИ432 ЭИ397	≤ 0.12	≤ 0.8	≤ 2.0

* 鈦含量下限為 $4 \times \%C$ 。** 鈦含量下限為 $5 \times (\%C - 0.03)$ 。

*** 鈮含量下限為

抗氧化鋼的化学成分

表 1

学 成 分, %						
铬	镍	钼	钛	铌	硫	磷
					不 大 于	
12.0—14.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
12.0—14.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
12.0—14.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
12.0—14.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
16.0—18.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
23.0—27.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
27.0—30.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
17.0—19.0	≤0.6	—	—	—	0.030	0.035
17.0—20.0	8.0—11.0	—	—	—	0.030	0.035
17.0—20.0	8.0—11.0	—	—	—	0.030	0.035
17.0—20.0	8.0—11.0	—	—	—	0.030	0.035
16.0—18.0	1.5—2.5	—	—	—	0.030	0.035
22.0—25.0	12.0—15.0	—	—	—	0.030	0.035
22.0—25.0	17.0—20.0	—	—	—	0.030	0.035
23.0—27.0	≤0.6	—	0.8以下*	—	0.030	0.035
19.0—22.0	12.0—15.0	—	—	—	0.030	0.035
23.0—27.0	18.0—21.0	—	—	—	0.030	0.035
17.0—20.0	8.0—11.0	—	0.8以下**	—	0.030	0.035
17.0—20.0	9.0—13.0	—	—	1.5以下***	0.030	0.035
12.0—14.0	3.7—5.0	—	—	—	0.030	0.035
16.0—19.0	11.0—14.0	2.0—3.0	0.3—0.6	—	0.030	0.035
16.0—19.0	11.0—14.0	3.0—4.0	0.3—0.6	—	0.030	0.035

8 × %C。