



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94192534.X

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

C22C 38 / 44

[43]公开日 1996年7月3日

[22]申请日 94.6.20

[30]优先权

[32]93.6.21 [33]SE[31]9302139-2

[86]国际申请 PCT/SE94/00606 94.6.20

[87]国际公布 WO95/00674 英 95.1.5

[85]进入国家阶段日期 95.12.21

[71]申请人 桑德维克公司

地址 瑞典桑德维克

[72]发明人 帕西·坎加斯 伯蒂尔·瓦尔登

约兰·伯格伦德

米凯尔·尼科尔斯

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 程伟

B23K 35 / 30

权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图页数 3 页

[54]发明名称 铁素体-奥氏体不锈钢

[57]摘要

提供了一种双相不锈钢合金钢，该钢含有%（重量）：

-C 最大为 0.05

-Si 最大为 0.8

-Mn 0.3—4

-Cr28—35

-Ni3—10

-Mo1.0—4.0

-N0.2—0.6

-Cu 最大为 1.0

-W 最大为 2.0

-S 最大为 0.010

-Ce 0—0.2

余量为 Fe 和正常存在的杂质及添加剂。铁素体含量为 30—70%（体积）。该合金钢非常适用于制备尿素时存在的环境，其中可有利地替代迄今所用的奥氏体钢。

(BJ)第 1456 号

# 权 利 要 求 书

---

1、一种双相不锈钢合金钢，其特征在于，以重量百分数表示，该钢含有：

- C 最大为0.05
- Si 最大为0.8
- Mn 0.3 - 4
- Cr 2.8 - 3.5
- Ni 3 - 10
- Mo 1.0 - 4.0
- N 0.2 - 0.6
- Cu 最大为1.0
- W 最大为2.0
- S 最大为0.010
- Ce 0 - 0.2

余量为Fe和正常存在的杂质及添加剂，铁素体含量为30 - 70%（体积）。

2、权利要求1的合金钢，其特征在于C含量最大为0.03%（重量），优选最大为0.02%（重量）。

3、权利要求1或2的合金钢，其特征在于Si含量最大为0.5%（重量）。

4、上述权利要求中任一项的合金钢，其特征在于Cr含量在2.9和3.3%（重量）之间。

5、上述权利要求中任一项的合金钢，其特征在于Ni含量在3和7%（重量）之间。

6、上述权利要求中任一项的合金钢，其特征在于Mo含量在1.0和3.0%（重量）之间。

7、上述权利要求中任一项的合金钢，其特征在于

Mo 含量在1 .0 和2 .0 % (重量) 之间。

8 、上述权利要求中任一项的合金钢, 其特征在于N 含量在0 .3 0 和0 .5 5 % (重量) 之间。

9 、上述权利要求中任一项的合金钢, 其特征在于N 含量在0 .3 6 和0 .5 5 % (重量) 之间。

1 0 、上述权利要求中任一项的合金钢, 其特征在于Mn 含量为0 .3 和1 % (重量) 之间。

1 1 、上述权利要求中任一项的合金钢, 其特征在于铁素体含量在3 0 和5 5 % (重量) 之间。

1 2 、上述权利要求中任一项的合金钢, 其特征在于奥氏体相中的Cr 含量至少为2 5 % (重量) 。

1 3 、上述权利要求中任一项的合金钢, 其特征在于奥氏体相中的Cr 含量至少为2 7 % (重量) 。

1 4 、权利要求1 至1 3 中任一项的合金钢在制备尿素时存在的环境中的应用。

1 5 、权利要求1 4 的应用, 其特征在于在尿素设备中的汽提塔管、套管、冷凝管、焊合材料和高压管中包含有权利要求1 -1 3 中任一项的合金钢。

1 6 、权利要求1 -1 3 中任一项的合金钢为用于硝酸环境中作为工艺过程化学组件中结构材料的应用。

1 7 、权利要求1 -1 3 中任一项的合金钢在造纸及纸浆工业, 如白液环境中的应用。

1 8 、焊丝, 其特征在于该焊丝主要由权利要求1 -1 3 中任一项的合金钢组成。

铁素体 - 奥氏体不锈钢

本发明涉及一种具有高含量Cr 和N 以及低含量Ni 的铁素体 - 奥氏体钢, 该钢主要是为了用于合成尿素设备的高压组件。然而, 该钢也适用于需要良好耐蚀性或高强度之处的其他目的。

双相不锈钢是一些特征在于两相具有不同组成时的铁素体 - 奥氏体结构的钢。现有的双相不锈钢主要是与Cr、Mo、Ni 和N 熔成的合金。双相结构意味着在铁素体中富集有Cr 和Mo 而在奥氏体中富集有Ni 和N。大多数现有的双相钢含有22 - 27 %Cr、4 - 7 %Ni、0 - 4 %Mo 和0.1 - 0.3 %N。这使材料得到具有30 - 70 %铁素体而其余为奥氏体的双相结构。为使合金具有特定的性能, 其他元素, 如Mn、Cu、Si 和W 也可存在。

双相不锈钢, 特别是由于双相不锈钢中的Ni 含量, 经常是用作奥氏体不锈钢而且是对较低价值的可供选择方案。从而经常能发现具有相应于奥氏体的耐蚀性能的双相不锈钢。这种钢的一个实例是含有20 %Cr、18 %Ni、6 %Mo 和0.2 %N 的奥氏体254 SMO<sup>®</sup> (UNS S 31254), 该钢具有与含25 %Cr、7 %Ni、4 %Mo 和0.3 %N 的双相钢SAF 2507<sup>®</sup> (UNS S 32750) 相同水平的含氯环境中的耐腐蚀性能。

然而, 某些奥氏体钢, 如专门为用于尿素工艺开发

的，含25%Cr、22%Ni和2%Mo的Sandvik 2RE69用于尿素工艺中迄今还没有适当的双相不锈钢中的对应钢种。这一问题已由本发明得到了解决。

双相不锈钢的合金化水平向上受到结构稳定性的限制。铁素体-奥氏体结构意味着该材料对在475℃时的脆性和在600-1000℃温度范围时的金属间相分离敏感。金属间相的分离主要是由高含量Cr和Mo而增强的，但它可通过含有N而被抑制。N对结构稳定性的作用意味着可使较高含量的Cr合金化入该材料中而不会对使结构稳定性有任何恶化。然而，N含量向上受到其在熔体中的溶解度的限制，使孔隙率提高到的百分比过高，并受到合金中固溶度的限制，可造成氮化物析出。

为提高熔体中N的溶解度，可提高Mn和Cr的含量。然而，Mn增加了金属间相分离的危险，从而应限制Mn。由于N是一种强奥氏体促进剂，所以可通过增加N含量而显著地降低Ni含量并仍保持铁素体-奥氏体结构。

用于合成尿素的设备构成了对奥氏体和双相不锈钢的一种有意义的用途。尿素是在高压和高温下通过氨和二氧化碳的合成制得的。高压部分中的工艺溶液对碳钢腐蚀非常严重。从而基本上使用特种钢，但也使用钛和锆。然而，后者在购买和生产时成本很高，从而限制了它们的使用。

当前，奥氏体不锈钢作为尿素工艺的高压部分材料处于支配地位。经常使用的钢是Sandvik 3R60R U.G.，该钢是改进的AISI 316L（

UNS S 31603), 其特征在于18%Cr、14%Ni和2.7%Mo和仔细控制的铁素体含量。在大多数要求的应用中,使用25%Cr-22%Ni-2%Mo(UNS S 31050)类型的钢。对使用不锈钢的要求是,可维持该钢的钝性。因此,将氧添加入尿素合成的工艺溶液中。从而,这种添加仅由于材料-技术观点所必须,但却同时造成能量和产率损失,以及在过量时的潜在安全危险。因此,在工艺-技术观点以外,如果能完全除去,则合乎要求的是减少添加氧。然而,在当前的工艺方法中,难以保证在工艺溶液中存在的所需氧量。这种场合是例如在汽提塔,即大多数转化热交换器中发生的溶液沸腾。在一定条件下在Cr 25-Ni 22-Mo 2(UNS S 31050)类型钢上也发生某些腐蚀。在AISI 316L(UNS S 31603)上的腐蚀主要发生在冷凝条件下。从而,不能在全部工艺中保证合适的钝性。

低劣的材料质量也造成尿素工艺中的腐蚀,导致侵蚀焊接连接。材料的不均匀是腐蚀的另一原因。这些因素表明,良好的结构稳定性是在尿素溶液中对良好耐腐蚀性,或在需要良好耐腐蚀性的其他用途中的先决条件。

关于尿素用钢的组成,公知的是,Cr对耐腐蚀性具有有利的影响。一系列研究也已表明,奥氏体中的Ni在当工艺溶液中产生低含量氧时的条件下是有害的。这导致随着钢中Ni含量的增加,腐蚀速度显著提高。另一方面,含低含量Ni的铁素体钢在这些条件具有很低的腐蚀性。然而,铁素体钢作为结构材料由于不良的结构稳定性而具有很大的局限性,导致与焊接和生产有关的许多问题。

在某些方面，铁素体-奥氏体不锈钢主要是作为尿素工艺中的材料是非常有意义的。在高压部件中可充分利用这些钢的高强度，而适度的镍含量使这一类型钢在无氧条件下具有更好的耐蚀性能。因而，为了在无氧条件下具有良好的耐尿素环境性能，铁素体-奥氏体钢应具有高Cr含量和低Ni含量。

本发明涉及一种具有高含量Cr和N以及低含量Ni的双相铁素体-奥氏体钢，该钢主要是为了用于尿素合成中的高压部件，但也可在使用高合金奥氏体不锈钢以达到耐腐蚀性之处的其他环境中找到用途。在如下用途中已得到了特别良好的性能：

- 尿素设备中的汽提塔管
- 尿素设备中的套管
- 尿素设备中的冷凝管
- 尿素设备中的焊合材料
- 尿素设备中的高压管
- 硝酸工艺（例如在冷却器-冷凝器中）
- 造纸和纸浆工业（例如在白液(white liquor)环境中）
- 焊丝

本发明合金钢的其他合适用途是作为无缝管、焊接管、法兰、偶联管和薄钢板的生产材料。

该合金的特征在于，通过包含高含量N在高Cr含量时已达到的良好结构稳定性。

下面接着说明所附的曲线图。

图1示出了按照不锈钢耐蚀(Huey)试验的Cr对腐蚀性的影响。

图2示出了按照不锈钢耐蚀试验的Mn对腐蚀性的影响。

图3 示出了按照不锈钢耐蚀试验的Mo 对腐蚀性的影响。

图4 示出了按照不锈钢耐蚀试验的N 对腐蚀性的影响。

图5 示出了按照Streicher 试验的Cr 对腐蚀性的影响。

图6 示出了按照Streicher 试验的Mn 对腐蚀性的影响。

图7 示出了按照Streicher 试验的Mo 对腐蚀性的影响。

图8 示出了按照Streicher 试验的N 对腐蚀性的影响。

图9 示出了N 对分布系数 $\%Cr_{\alpha} / \%Cr_{\gamma}$ 的影响。

图10 示出了N 对分布系数 $\%Ni_{\alpha} / \%Ni_{\gamma}$ 的影响。

该合金含有% (重量) :

- C 最大0.05
- Si 最大0.8
- Mn 0.3 -4
- Cr 2.8 -3.5
- Ni 3 -10
- Mo 1.0 -4.0
- N 0.2 -0.6
- Cu 最大为1.0
- W 最大为2.0
- S 最大为0.010
- Ce 0 -0.2



余量为Fe和正常量的杂质。

铁素体含量：30 - 70 %。

碳确切地说被认为是本发明中的一种杂质元素并且在铁素体和奥氏体两者中具有有限的溶解度。这一有限的溶解度意味着在过高百分比时存在碳化物析出的危险，因而同时降低耐蚀性。从而，碳含量应限于最大为0.05%，较佳限于最大为0.03%，最佳限于最大为0.02%。

硅被用作生产钢时的脱氧添加剂并提高生产和焊接时的流动性。过高的Si含量增加析出金属间相析出的趋势并降低N的溶解度。由此，Si含量应限于最大为0.8%，较佳限于最大为0.5%。

锰被加入合金以提高N在熔体中的溶解度并为代替Ni作为一种合金化元素，因为Mn被认为是奥氏体稳定的。在本说明书下面进一步提出的研究表明，Mn消极地影响耐蚀性能并且另外还恶化结构稳定性，这导致金属间相析出的更大危险。然而，与Mn的合金化由于提高了N的溶解度，无论如何已被认为是一个优点，并且被认为是在保持铁素体含量的同时较低含量Ni的可能性。然而，已出人意料地显示出，Mn具有微不足道的奥氏体稳定化作用。不受任何理论关系的束缚，上述问题的原因据认为是，高含量N使Mn由奥氏体重新分布入铁素体，因而当N含量高时，Mn含量在铁素体和奥氏体之间差别不显著。此外，已显示出合金中所讨论的Cr含量，熔体中N的溶解度是如此的高，以致不能将任何Mn的合金化推向任何高的程度。合适的是，选择的Mn含量在0.3和4%（重量）之间，较佳的是在0.3和1%（重量）之间。

铬是提高抗多数类型腐蚀性能的最有效的元素。在尿素合成时，Cr 含量对耐蚀性有较大的重要意义，从而由结构稳定性观点出发，Cr 含量应尽可能地大。Cr 含量的增加意味着具有Cr 含量终是比奥氏体高的铁素体在过高百分比时会对析出敏感，这意味着析出，主要是金属间相的析出可在铁素体中并且在铁素体-铁素体和铁素体-奥氏体晶界处发生。从而，合乎要求的是将Cr 由铁素体重新分布成奥氏体，从而较弱的奥氏体得到提高的耐蚀性，并且可在不恶化结构稳定性时使较高总量的Cr 合金化。此外，Cr 提高了熔体中N 的溶解度和合金中N 的固溶度。在足够高的Cr 含量时，通过随后也能添加全部AOD（氩-氧脱碳）中的氮的事实，也可强化熔体制备，这意味着在钢包处理时可省去添加昂贵的Fe-Cr-N。为了在奥氏体中达到足够的耐蚀性能，在奥氏体相中Cr 含量应至少为25%，较佳为至少27%。从而，合乎要求的是，总Cr 含量至少为28%，较佳的至少为29%。然而，结合Mo、W、Si 和Mn，铬增加了金属间相析出的危险，因而Cr 含量应限于最大为35%，较佳最大为33%。

镍主要用作一种奥氏体稳定化元素并按照本发明，其含量应保持尽可能低。据认为，在具有低氧含量的尿素环境中奥氏体不锈钢不良耐蚀性的一个重要原因是Ni 含量较高。在铁素体-奥氏体不锈钢中较低含量的Ni 被假设为在具有低氧含量的尿素环境中这一类型合金较好耐蚀性能的主要原因。与N 的合金化意味着可添加较低含量的Ni，同时保持铁素体含量。然而，在奥氏体相中的Ni 含量对尿素环境中的耐蚀性是限制的。Ni 含量在奥氏体相中比铁素体相中更高。下面进一步提

出的研究出人意料地显示出N含量增加不仅使得能降低Ni含量，而且也意味着Ni由奥氏体相重新被分布成铁素体相。因而，这表示进一步改进尿素环境中的耐蚀性，因为当增加N含量时，较弱的奥氏体相得到比预期更低的Ni含量。在本发明中，要求的Ni含量为3 - 10%，较佳的为3 - 7%Ni，以达到铁素体含量范围为30 - 70%。

钼是非常有效的元素并被用以改进合金的钝性。Mo与Cr和N一起是那些最有效提高抗点蚀和裂隙腐蚀性能的元素。下面进一步提出的研究出人意料地显示出，本发明合金中提高的Mo含量改进了在腐蚀性环境中的耐蚀性能，导致了当Mo含量提高时，在不锈钢耐蚀试验(Huey)时降低腐蚀。此外，Mo由于提高了N的固溶度削弱了析出氮化物的趋势。从而，合乎要求的Mo含量为至少1%。然而，过高含量的Mo，特别是如果同时Cr含量高，则包含有金属间相析出的危险。从而，Mo含量应被限于最大为4%，较佳最大为3%，特别是最大为2%。

氮是合金中非常有效的元素。N是一种强奥氏体形成剂并增强了焊接后热影响区中奥氏体的重组。N影响Cr和Mo的分布，因而较高含量的N提高了奥氏体中Cr和Mo的相对份额。一方面，这意味着奥氏体变得更耐腐蚀，另一方面，较高含量的Cr和Mo可被包含入合金中，同时保持结构稳定性，因为铁素体中Cr和Mo的份额，比奥氏体更易于析出，在确定的Cr和Mo百分比时变得更低。由于奥氏体相在合金中是较弱的相，该相在尿素环境中将优先受到侵蚀。从而，含有高N含量是高度有利的，因为它降低了铁素体中金属间相

析出的危险，同时因为它提高了耐蚀性。此外，公知的是，N 还在全部奥氏体钢中抑制了金属间相的形成。从而，在双相钢中，由于元素的重新分布得到了降低了对析出的灵敏度，以及由于N 本身作为一种合金化元素降低了对析出的灵敏度。从而，应加入的N 含量至少为0.20%，较佳为至少0.30%，特别是至少0.36%。N 含量更高受到熔体中溶解度和合金中固溶度的限制，这涉及到在过高含量N 时可能发生氮化物的析出。此外，过高含量N 可在焊接时引起孔隙的形成。从而，N 含量应限于最大为0.60%，较佳最大为0.55%。

在焊接时，氮增强了奥氏体的重组，大大地改进了焊点的韧性和耐蚀性。

铜改进了在酸环境，如硫酸中的一般耐蚀性能。然而，高含量Cu 降低点蚀和裂隙腐蚀性能。此外，所讨论的合金类型中，Cu 的固溶度是受限的。从而，Cu 应限于最大为1.0%。

钨提高了抗点蚀和裂隙腐蚀性能。然而，高含量W，特别是结合高含量Cr 和Mo，提高了金属间相析出的危险。此外，含有W 导致钢厂中处理成本更高。从而，W 的量应限于最大为2.0%。

硫由于形成易溶的硫化物有害地影响耐蚀性能。此外，高含量S 使热加工性恶化。从而，S 含量应限于最大为0.010%，较佳最大为0.005%，特别是最大为0.001%。

可以将铈，例如以铈合金形式加入合金中，以改进合金的加热工性。与硫化锰相反，Ce 形成不会恶化耐蚀性的铈氧-硫化物。从而，可将百分比最高达0.2%，较佳最高0.1%的Ce 加入合金中。如果加入C

e, 其含量应至少为0.03%。

合金的铁素体含量对保证相组成、结构稳定性、热加工性和耐蚀性是重要的。从而, 铁素体含量范围应为30-70% (体积), 较佳范围是30-55% (体积)。

本发明旨在提供一种主要是在尿素环境中具有良好腐蚀性能的合金。由于Cr是改进耐蚀性最有效的元素, 这是随着Cr含量提高, 钝性改进的结果, 所以Cr含量应尽可能高。然而, 在一定含量Cr时, 结构稳定性恶化。其原因是, 具有比奥氏体的Cr和Mo含量更高的铁素体变得易于析出, 由此主要是金属间相将在铁素体中, 或在铁素体-铁素体或铁素体-奥氏体之间的晶间处析出。然而, 通过将N包含入合金, Cr和Mo将重新分布入奥氏体相。

为了使Cr含量在奥氏体相中达到最佳, 应满足如下条件 (照例, 全部百分比为% (重量)):

$$\%Cr + 1.5 \cdot \%N > 3.1, \text{ 特别是} > 3.3$$

为了进一步改进抗氧化环境性能, 较佳是满足如下条件:

$$\%Cr + \%Mo - 8 \cdot \%N > 2.2$$

为了将在生产时金属间相析出的危险降至最低, 其组成较佳的是由如下关系所反映的:

$$\%Cr + 4.1 \cdot \%Mo + 1.4 \cdot \%Ni - 6.9 \cdot \%N < 5.5; \text{ 特别是由如下关系所反映的:}$$

$$\%Cr + 0.9 \cdot \%Mn + 4.5 \cdot \%Mo - 12.9 \cdot \%N < 3.5$$

为了进一步改进在AOD生产时熔体中达到足够的氮溶解度的条件, 较佳的是满足如下条件:

4.5 • %Cr + 2 • %Mn + 1.1 • %Mo -  
%Ni > 114

### 实施例

由170kg热锻并挤压成棒的铸锭，该用于大部分腐蚀试验的材料在固溶热处理之前也经冷轧，提供一系列试验装料。

表1 示出了试验装料的组成%（重量）。

表1

钢	装料	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N
1	654604	0.015	0.18	7.07	30.94	6.56	1.95	0.37
2	654593	0.016	0.20	6.12	30.46	8.08	1.55	0.28
3*	654594	0.017	0.22	1.13	30.42	9.92	1.26	0.18
4	654617	0.015	0.23	8.00	29.14	6.56	1.03	0.27
5	654597	0.016	0.19	5.87	29.01	8.89	1.96	0.18
6*	654598	0.015	0.21	1.09	29.31	6.08	1.56	0.38
7	654600	0.015	0.22	8.19	27.46	7.47	1.34	0.18
8	654601	0.021	0.22	6.04	27.65	4.07	1.01	0.38
9*	654602	0.015	0.22	1.16	27.50	6.70	2.02	0.28
10*	654605	0.015	0.27	1.02	29.03	8.86	1.06	0.19
11	654606	0.017	0.23	7.45	29.61	5.24	1.52	0.37
12	654611	0.015	0.19	7.46	30.77	6.35	1.55	0.36
13	654614	0.015	0.20	1.70	28.81	9.17	1.07	0.13
14	654596	0.017	0.22	8.00	28.85	7.10	1.95	0.28

\* : 本发明

按照统计试验设计 (S T P ) 的原则提供合金1 - 9 , 由此Cr、Mn、Mo和N以系统方式变化, 得到关于上述四种元素对不同结果参数影响的情报。铁素体含量通过用Ni平衡被保持在全部合金40 - 60%的范围内。

### 机械性能

发现该材料的机械性能良好。表2中给出了一个实例, 该处列出了合金no.10的机械性能。

表2

合金	受拉屈服点 Rp0,2 (MPa)	极限强度 Rm (MPa)	A5 (%)	冲击强度		维氏硬度 HV10
				20°C	-50°C	
10	471	715	37	260	260	250

由该表清楚可见, 材料具有为在断裂延伸时的高值(A5)所说明的良好延伸。该材料还在低温下也具有良好的冲击强度。可逆反应温度低于-50°C。

### 结构稳定性

非常重要的一点是, 该合金是充分结构稳定的以使能够制得和焊接而无任何金属间相或氮化物析出。在合金中的高N含量, 不管其高合金化程度, 使该材料能解决对结构稳定性的要求。其原因是氮抑制形成金属间相, 同

时因为氮将Cr 和Mo 由铁素体重新分布入奥氏体。

表3 示出了完全退火工序对某些试验装料结构的影响，加热温度为1 5 0 °C/分，完全退火温度1 0 2 0 °C，保温时间3 分，同时改变冷却速率。通过坑计数测量金属间相的份额。

表3

合金	冷却温度	金属间相量(%)
3	140	0
3	17.5	46
10	17.5	0
13	17.5	28
3	140	0

显然，合金1 3 比合金1 0 更易于析出，这是取决于合金1 3 中的氮含量较低。合金3 控制冷却速率为1 4 0 °C/分无任何金属间相析出，而不是1 7 .5 °C/分。其原因是，氮含量在该合金中的较高Cr 含量下太低，以至于结构稳定与合金1 0 不相等。然而，合金3 是可生产的，因为冷却速率1 4 0 °C/ 分相应于在生产时的最低可行冷却速率。

### 腐蚀试验

A S T M A 2 6 2 ， 操作规程C 的不锈钢耐蚀试验是一种为测定氧化环境中合金的耐蚀性和为试验材料



是否以正确方式进行过热处理而设立的方法。可能的析出，例如晶界中铬的碳化物提高了不锈钢耐蚀试验时的腐蚀速率。用于尿素环境的材料经常被提供给在不锈钢耐蚀试验时需要低腐蚀速率的技术要求，并主要考虑的得到一种在氧化工艺环境中材料性能的观点。表4 示出了在固溶热处理条件 (1 0 4 0 °C/2 0 分/H<sub>2</sub>O) 下不锈钢耐蚀试验时合金的腐蚀速率。

表4

合金	腐蚀 (mm/年)
1	0.060
2	0.060
3	0.050
4	0.070
5	0.055
6	0.075
7	0.080
8	0.090
9	0.070
10	0.060
11	0.070
12	0.065
13	0.060
14	0.070

可将合金1 -9 用于计算在不锈钢耐蚀试验时Cr、

Mn、N和Mo对腐蚀速率的影响。图1-4鲜明地示出了这些元素的影响。得到如下关系：

$$\text{腐蚀 (mm/年)} = 0.285 - 0.0080\% \text{Cr} - 0.0080\% \text{Mo} + 0.0007\% \text{Mn} + 0.065\% \text{N}$$

由该关系清楚地可见到Cr和Mo对不锈钢耐蚀试验时的耐蚀性的有利作用和Mn及N的有害作用。N的作用由N使Cr由铁素体重新分布入奥氏体而得到解释，这意味着铁素体中Cr含量减少，从而腐蚀速率提高。出人意料的是Mo有利于不锈钢耐蚀试验中的耐蚀性。以前公知的是，Mo提高不锈钢耐蚀试验时的腐蚀率。显然，这不是具有高Cr和N含量的双相钢的场合。

类似于不锈钢耐蚀试验，ASTM A262，操作规程B的Streichler试验是一种试验氧化环境中材料耐蚀性的方法。图5-8鲜明地示出了这些元素的影响。在这些图中明显的是，Cr对耐蚀性非常有利，Mo略为有利，而N和Mn是有害的。

抗局部腐蚀，如点蚀、裂隙腐蚀和应力腐蚀的性能对可用于高氯化物含量可造成麻烦之处，例如热交换器的材料是重要的。通常，双相不锈钢对应力腐蚀具有很高的耐蚀性，这不仅由铁素体-奥氏体结构本身，而且也由这些钢的非常良好钝性得到解释。

点蚀是不锈钢常有的一个问题，本发明已将该问题基本上克服。在温度以5℃间隔提高直至产生点蚀时，按照改进的标准ASTM G48 A测量临界点蚀温度(CPT)是一种试验海水中耐蚀性的普通方法。在下面表5中可见到在点蚀开始时的温度。在该表中，是在6%FeCl<sub>3</sub>中得到的临界点蚀温度(CPT)。

表5

合金	CPT (°C)
4	45
10	60
13	45

合金10的较高N含量得到比合金13更好的耐点蚀性能。合金4具有比合金10更差的耐蚀性，因为Mn含量较高。Mn由于形成易溶的硫化锰可降低耐点蚀性。

已非常仔细地进行了本发明所包含元素的平衡，以达到良好的结构稳定性，良好的机械性能和高耐蚀性。图9示出了N对铁素体中Cr (Cr  $\alpha$ ) 和奥氏体中Cr (Cr  $\gamma$ ) 分布的影响。可看到，在提高N含量时，Cr由铁素体转化成奥氏体。图10示出了对铁素体 (Ni  $\alpha$ ) 和奥氏体 (Ni  $\gamma$ ) 之间Ni分布的影响。出人意料的是，已显示出，在提高N含量时，Ni由奥氏体转化成铁素体。

表6示出了本发明两种合金的相组成，相组成以% (重量) 表示。

表6

合金	Cr	Ni	Mo	N
3(铁素体)	34.7	7.0	1.75	<0.05
3(奥氏体)	27.5	12.17	1.13	0.28
3(全部)	30.42	9.92	1.26	0.18
6(铁素体)	31.69	4.53	2.16	<0.05
6(奥氏体)	29.10	7.02	1.49	0.52
6(全部)	29.31	6.08	1.56	0.38

可看出，高N含量在Ni含量低的同时得到奥氏体中的高铬含量。

# 说明书附图

图1

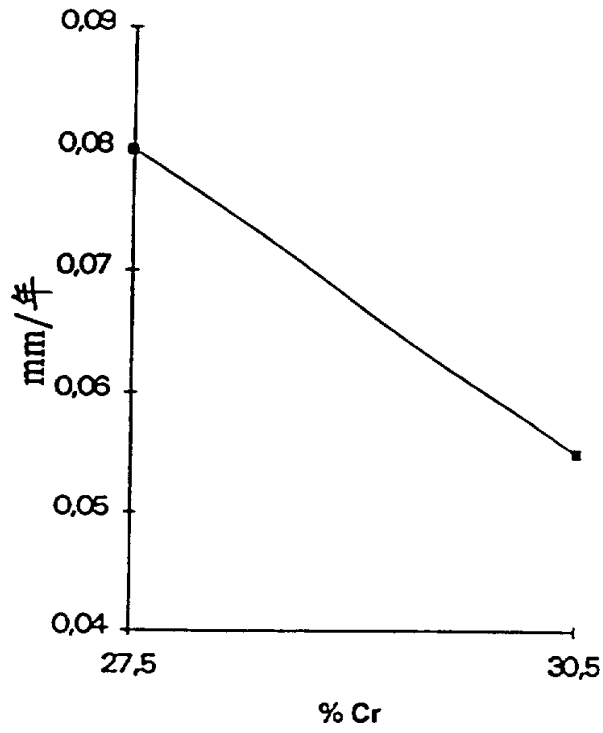


图2

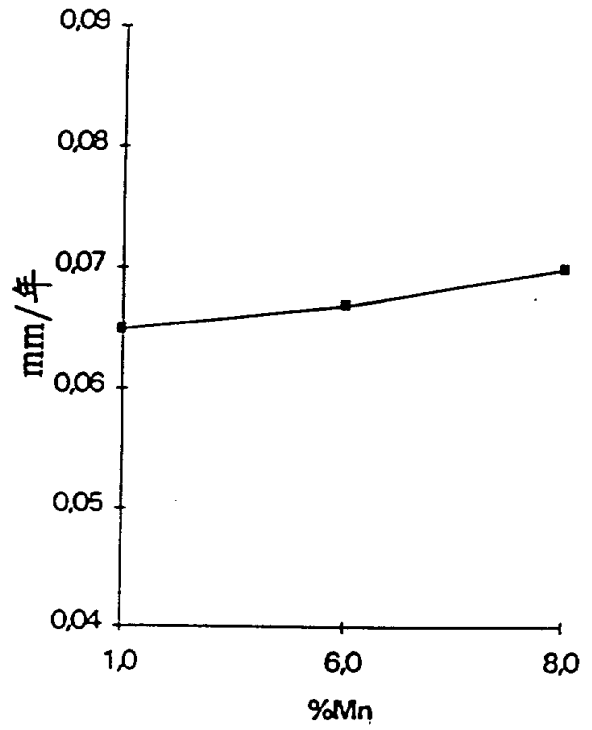


图3

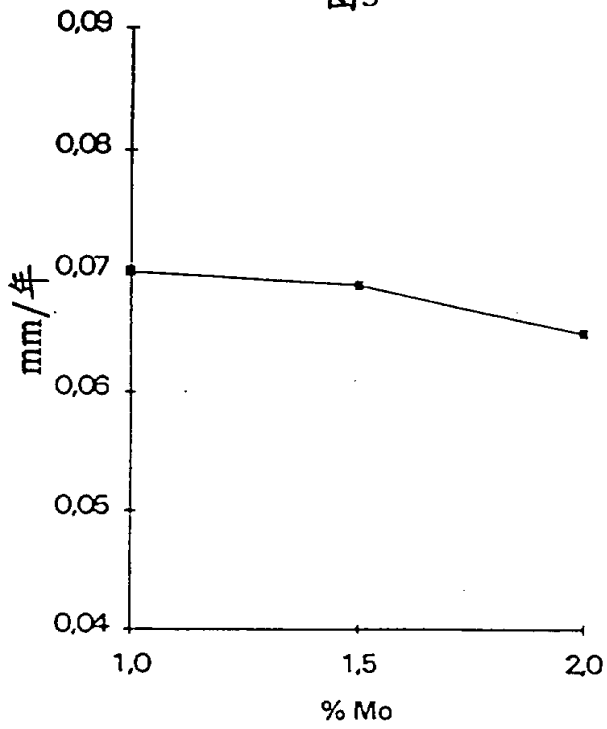


图4

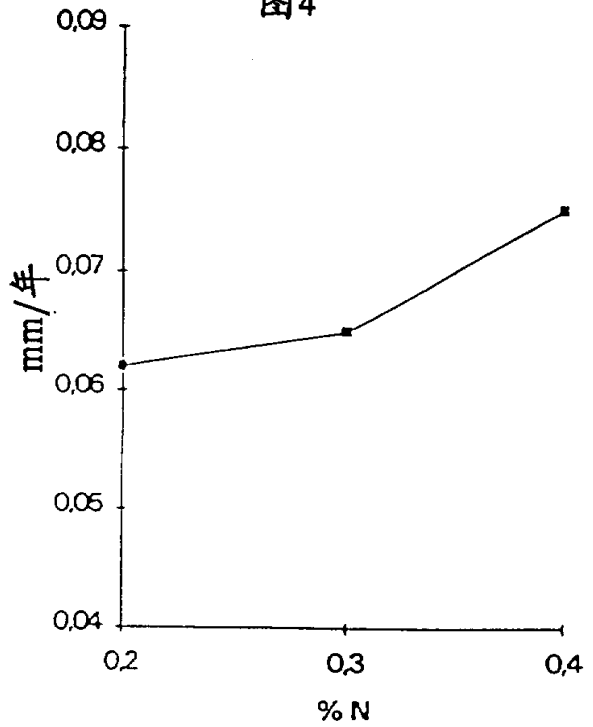


图5

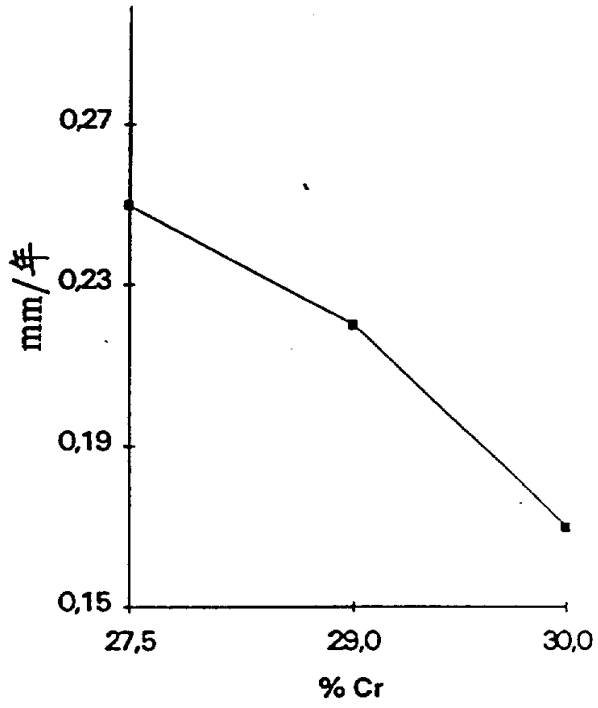


图6

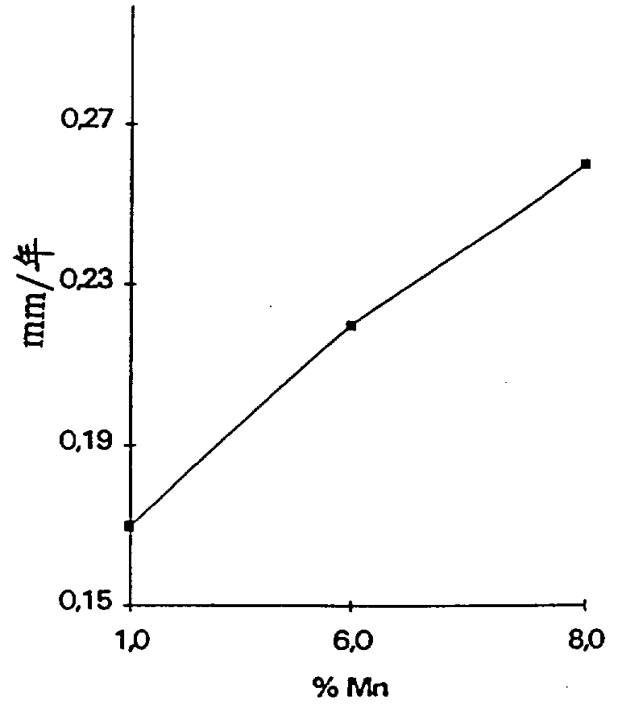


图7

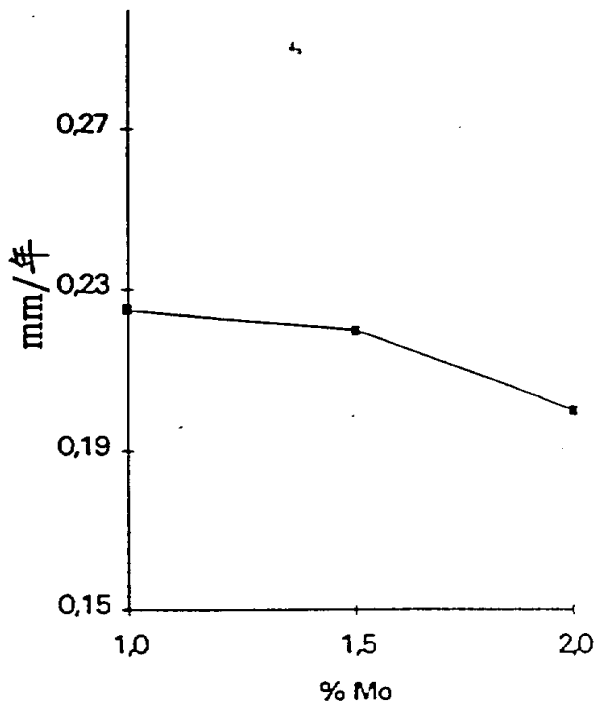


图8

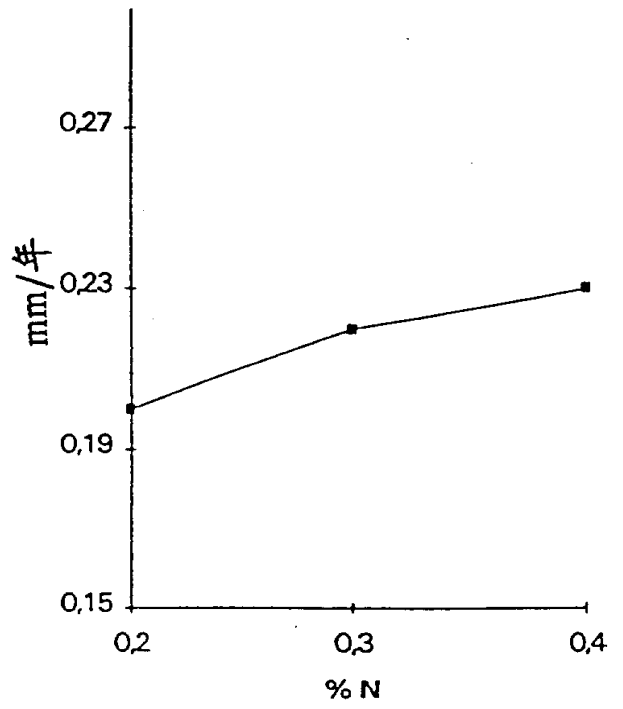


图9

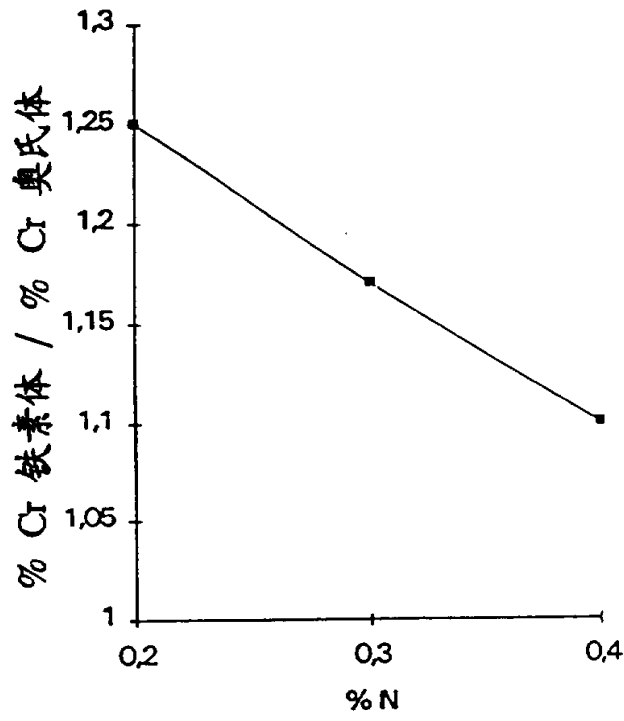


图10

