

耐蚀合金译文集

冶金工业部技质处
长城钢厂

1985

耐蚀合金译文集

(内部交流)

1985年8月出版

编 辑

印 刷

出版发行

《耐蚀合金译文集》编译组

《长城技术》编辑部

长城钢厂印刷所

长城钢厂技质处

(四川江油)

前 言

提起“耐蚀”，人们自然会想到不锈钢。的确，不锈钢作为优良的耐蚀金属在人类生活的各个领域发挥了并将继续发挥巨大的作用。但是，随着现代工业的发展，特别是石油、化工、化纤、化肥、造纸等工业的发展，腐蚀环境或工作条件变得越来越苛刻，不锈钢在很多情况下就很难应付日益严格的要求了。但是掌握科学技术的人总是有办法解决经济发展所面临的各种难题的。耐蚀合金就是在这种客观要求下诞生的、比不锈钢更为优异的新型耐蚀材料。

在国外，自本世纪二十年代起，耐蚀合金的发展经历了探索、研制、完善几个阶段，进入七十年代以来，可以说已经相当成熟了。当然，它还要向前发展，还将取得新的成就，也可能取得新的突破。

在我国，耐蚀金属材料的发展起步较晚，还没有形成自己的材料体系。然而，使用耐蚀材料的工业发展却很快，尤其是近年来，石油、化工、化纤等工业取得了惊人的进步，而材料工业无论在数量上还是在质量上，还远远不能满足它们对高效能耐蚀材料的需要。供求关系显得很失调。我们正面临着这样一个严重的挑战。

毫无疑问，随着四化建设和科学技术的发展，我们的耐蚀材料肯定会赶上去。在前进的道路上，我们不仅要积累自己的经验，也要吸取别人的成功经验。这样，我们可以少走弯路，赢得时间，减少浪费。在这种思想指导下，我们选译了国外有关耐蚀合金，特别是Hastelloy系合金的论文、报告若干篇，介绍给在耐蚀材料研究、生产和使用部门辛勤工作的广大同志们。如果这本《译文集》对您了解国外耐蚀材料有所帮助，从而对您的工作有所裨益，我们的愿望就算达成了。

由于人力、精力限制，所收文献不够全面，不够系统。我们准备继续收集资料，再出一本续集，为我国耐蚀材料的开发尽微薄之力。

本译文集由长城钢厂总厂情报室和三分厂情报室联合编译。编译组成员有：苏肇乾、刘春生、张红斌、韩国忱，韩国忱主编。

在工作中得到总厂和分厂有关领导和同志们大力支持，在此表示感谢。

由于水平所限，谬误之处望读者批评指正。

编 者

1985年5月

耐 蚀 合 金 译 文 集

目 录

关于在盐酸介质中使用的镍基耐蚀合金	张光复摘编 (1)
化工设备用新型镍基合金	〔西德〕 W.Katz, 韩国忱译 (11)
高镍耐蚀合金	〔美〕 Rog.V.Hughson, 罗威豹译 (28)
Hastelloy 系镍—钼耐蚀合金	〔美〕 John L.Everhart,P., 张红斌译 (42)
新型Hastelloy合金的特性与用途	〔日〕 吉田装司等, 刘春生译 (53)
镍基耐蚀合金中氢的迁移	〔美〕 D.A.Mezzanotte,J.A.Kargol等, 苏肇乾译 (60)
一种镍基超合金中氢化物的形成	
.....	〔美〕 Ellina Lunarska—Borowiecka等, 苏肇乾译 (68)
冷加工高合金材料在H ₂ S环境中脆化的影响因素	
.....	〔美〕 R.D.Kane,M,Watkins等, 韩国忱译 (76)
杂质偏析对高强度镍基合金在H ₂ S环境中氢脆的影响	
.....	〔美〕 B.J.Berkowitz等, 易继佳译 (94)
锻造高镍合金的敏化	〔美〕 M.H.Brown 和 R.W.Kirchner, 韩国忱译 (103)
成份和组织对某些锻造Ni—Cr—Mo合金缝隙腐蚀、晶间腐蚀和应力腐蚀的影响	
.....	〔美〕 M.A.Streicher, 罗威豹译 (106)
一种改进的Ni—Cr—Mo耐蚀合金	
.....	〔美〕 F.G.Hodge, R.W.Kirchner, 苏肇乾译 (134)
Hastelloy C 在高温氯化物中的应力腐蚀	〔日〕 熊田诚, 刘春生译 (141)
在高浓度氯化物介质中使用的耐点蚀合金	
.....	〔美〕 R.Bandy 和 D.Van Rooyen, 张红斌译 (149)
Hastelloy C—276合金中不均匀析出物的电子显微分析	
.....	〔美〕 M.Raghavan, B.J.Berkowitz等, 苏肇乾译 (162)
Hastelloy C—276合金的表面偏析	〔美〕 J. J.Burton等, 苏肇乾译 (169)

时效对镍基合金Hastelloy C-276 氢脆的影响	[美] R.J.Coyle, J.A.Kargol 等, 李宝瑞译 (177)
时效对镍-铬-钼合金阳极行为的影响	[美] F.G.Hodge, 苏肇乾译 (184)
镍和镍基合金的腐蚀疲劳	[美] A.I.Asphanani, N.Sridhar, 罗威豹译 (195)
高镍奥氏体合金对应力腐蚀和晶间腐蚀的敏感性	[美] H.Corlou, L.Graff等, 罗威豹译 (206)
一种测定镍-钼合金和镍-钼-铬合金晶间腐蚀敏感性的方法及其在发展耐蚀合金方 面的应用	[西德] H.Grafen, 苏肇乾译 (215)
时效对镍-钼合金Hastelloy B 力学性能的影响	[美] DER-YAN等, 杨国安译 (230)
一种新型耐蚀合金的研制	[美] R.B.Leonard, 袁瑞兰译 (234)
防磷酸腐蚀的投标——Hastelloy G	[美] R.B.Leonard, 袁瑞兰译 (239)
815℃10000小时时效后Hastelloy N 合金中 η 碳化物的成份	[美] J.M.Leitnaker, G.A.Potter 等, 苏肇乾译 (242)
镍基合金 IN-586 在含水介质中的耐蚀性	[英] A.C.Hart, 韩国忱译 (247)
Hastelloy B 和 C 的埋弧焊	[日] 海俊景, 坂本和昭, 郑万杰译 (255)
化工机械用耐蚀材料—不锈钢、Hastelloy合金的焊接	[日] 三宅正昭, 郑万杰译 (267)
高性能Ni-Cr-Mo-W 合金	[美] H.M.Tawancy等, 杨国安译 (283)

关于在盐酸介质中使用的 镍基耐蚀合金

三分厂 张光复 摘编

从金属元素的电化学性质看, 镍的标准电位比铁大。在性质活泼的气体(如卤族元素及其氢化物)或碱性介质中, 镍的耐蚀性能远比铁为优。铬、钼、钨、铜、铝及硅等元素具有特定的耐蚀性能, 它们在以镍为基的奥氏体中的固溶度又比在铁中的大得多。因此, 向镍中加入铬、钼、钨及铜等元素而发展起来的耐蚀合金, 既保持有镍的良好特性, 又兼有合金元素的良好性能。镍基合金除具有良好的耐蚀性外, 又具有较高的强度和塑性, 可以冶炼、铸造、经受冷热变形、热处理、焊接及成型。目前, 已成为一类重要的耐蚀金属材料。

人类在1751年发现镍, 于1825年以工业规模生产出镍。在本世纪初研制出第一个镍基耐蚀合金(Monel)。在世界范围, 实际上从四十年代才开始大量研制和生产镍基合金。至目前为止, 国外已大量生产和应用的镍基和铁—镍基耐蚀合金在五十种以上。

盐酸是腐蚀性最强的一种还原性无机酸。在许多工业领域, 广泛地使用着盐酸。在不同温度和浓度条件下的盐酸介质中, 具有耐腐蚀性能的金属材料是这些工业领域得以发展的重要保证。本文简要地叙述近年来Ni—Mo系、Ni—Mo—Cr和Ni—Mo—Cr—W系以及Ni—Mo—Cr—Fe系耐蚀合金的发展及其在含盐酸介质中应用的概况。

一、Ni—Mo系耐蚀合金

1929年, 由于研究Mo对Ni在盐酸中耐蚀性的影响而发展了含Mo20%、Fe20%的Ni—Mo—Fe耐蚀合金(Hastelloy A)。但此合金仅能用于70℃以下的盐酸介质。随后进一步发展了Hastelloy B镍基耐蚀合

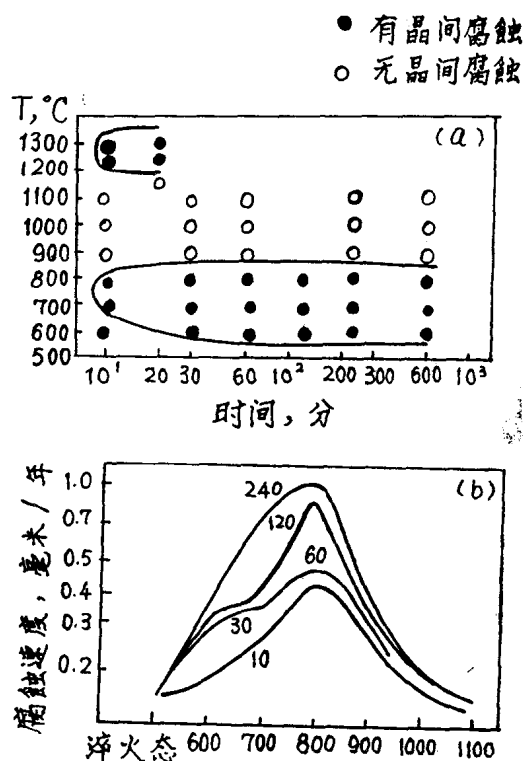


图1 不同温度和时间 的二次加热对 Ni70Mo28 (ЭП495)晶间腐蚀 (a) 和 (b)耐蚀性(在10%沸腾HCl中)的影响

金 (Mo30%、Fe5%)，它能够用于沸腾温度下任何浓度的盐酸中。但一般的Ni—Mo合金需经1150~1200℃固溶处理后才具有良好的耐蚀性。焊后在盐酸介质中使用，往往在焊缝出现刀口腐蚀；在热影响区出现晶间腐蚀。因此，必须限制住晶间腐蚀的发展，这类合金才能获得广泛的应用。下面从三方面阐述晶间腐蚀问题：

1、Ni—Mo合金的晶间腐蚀现象

图1说明，Ni—Mo合金在高温区 (1200~1350℃) 和中温区 (600~900℃) 有两个敏化带。由于敏化效应，合金耐蚀性显著下降。合金经1250℃固溶后，冷却时就要通过这两个温度区，甚至以盐水激冷，也会沿晶界产生腐蚀现象 (表1)。

表1 冷却速度对Ni—Mo合金*晶间腐蚀敏感性的影响

冷却条件	在10%沸腾盐酸中的腐蚀深度 (英寸)	
	试验8天	试验28天
盐水冷却	无	0.010
水冷却	0.006	0.020
空冷， $\frac{1}{8}$ 英寸厚	0.030	完全穿透
空冷， $\frac{3}{8}$ 英寸厚	0.013	0.037
空冷， $\frac{5}{8}$ 英寸厚	0.012	0.029

*此Ni基合金含 C 0.03%、Mo 27.4%、Fe 6.5%、Si 0.15%。

2、Ni—Mo合金产生晶间腐蚀的主要原因

普遍认为，Ni—Mo合金晶间腐蚀是由于合金通过敏化温度区 ($\geq 1250^\circ\text{C}$ 和 $600\sim$

900°C) 时，沿晶界析出富Mo相，而造成钼贫化所致。也有的学者认为，这些析出相改变了晶界的应力状态，从而造成了晶间腐蚀的一个原因。

在 $\geq 1250^\circ\text{C}$ 高温区，析出 M_6C 、 M_2C 及由Fe和Mo组成的 σ —相；在 $600\sim 900^\circ\text{C}$ 温度区，在晶界析出金属间相和 M_6C 、 M_2C 型碳化物。其中，在 $850\sim 900^\circ\text{C}$ 温度范围析出 Ni_3Mo 金属间相，在 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 温度范围析出 Ni_4Mo 金属间相。上述碳化物及金属间相均为富钼相。上述析出行为可由Ni—Mo二元状态图 (图2) 得到完全的解释。

3、降低Ni—Mo合金晶间腐蚀敏感性的主要措施

(1) 热处理

A、固溶处理：通过焊后进行 $1050\sim$

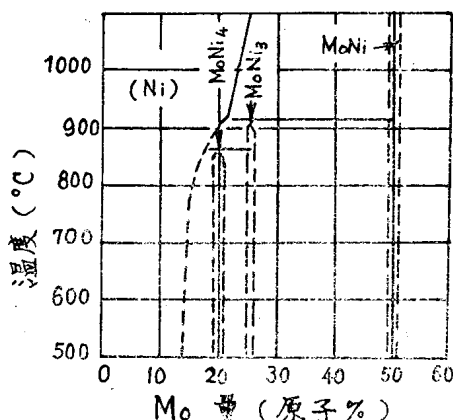


图2 Ni—Mo二元状态图

1150℃固溶处理消除晶间腐蚀倾向。

B、稳定化处理：在1150℃保温30分钟或在1050℃保温4小时，以便Mo在高温下扩散到晶间贫钼区并使晶界碳化物球化。

对某些部件或设备而言，往往是难以实施这类热处理的。

(2) 调整合金的化学成份

A、限制有害元素含量：为防止大量碳化物析出而形成贫钼区，有人主张大幅度地降低碳量($<0.005\%$)；由于铁促进 Ni_3Mo （在700℃附近）和 Ni_5Mo （850℃）金属间相的析出，铁含量应 $<0.1\%$ ；硅的有害作用可能是它减少了碳在镍中的固溶度并促进形成金属间相，所以亦应 $<0.1\%$ 。上述限制性措施将大大增加合金冶炼工艺的难度

并增加生产成本。

B、添加有益的合金化元素：

如图3所示，加钨消除了Ni—Mo合金的高温晶腐区，缩小了中温（600~800℃）晶腐区；图4表明，加钒既消除了高温晶腐区，又使中温敏化区向时间增长的方向移动（与图1对比）。各国学者一致认为钒能显著降低Ni—Mo合金的晶腐敏感性。苏联牌号ЭП496含V1.4~1.7%（Mo25~29%），而Corronel 220含V1.6~2.25%（Mo28~30%）。0Ni65Mo28Fe5V合金（国内曾命名为“新七号”）含V0.20~0.40%（允许到1.5%左右）、Mo26~30%、C $\leq 0.05\%$ 、Fe4~6%。含V的Ni—Mo合金在沸腾温度下任何浓度的HCl中均有良好耐蚀性（图5）。

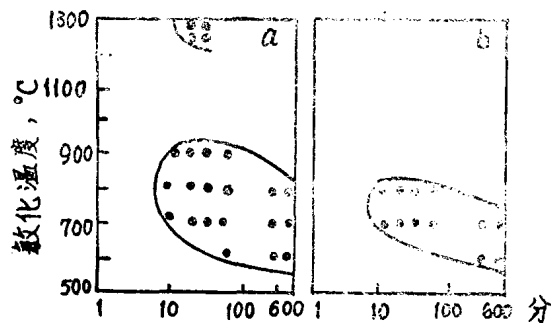


图3 W对Ni—Mo合金晶腐倾向的影响

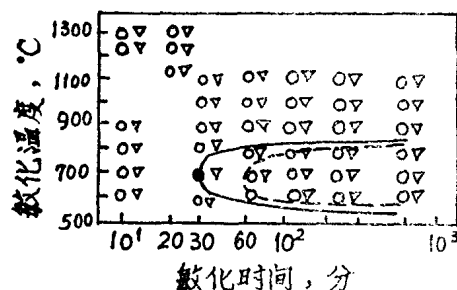


图4 加2%V的Ni—Mo合金晶腐倾向（在10%沸腾盐酸中）

● 晶间腐蚀深度 $>20MK$

a) Ni—Mo合金

b) Ni—Mo—W合金

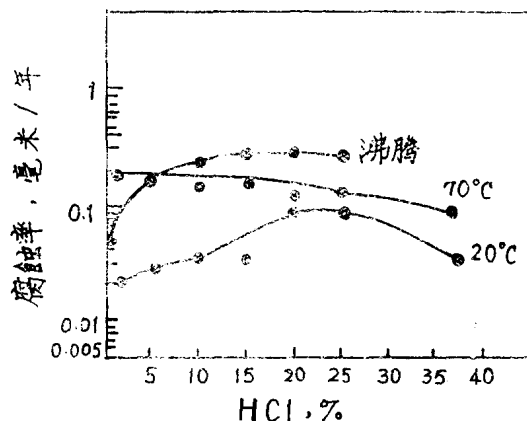


图5 含V1.4~1.7%的Ni—Mo（Mo 25/29）合金在不同温度和不同浓度盐酸中的耐蚀性

0 Ni65Mo28Fe5V合金对盐酸具有良好的耐蚀性(图6)。合金在高温下具有较高的强度、刚度,而且尺寸稳定。

从化学成份方面改进Ni—Mo合金的典型牌号就是Hastelloy B—2(含Mo26~30%、C≤0.02%、Si≤0.10%、Fe≤2.0%、Cr≤1.0%,余为Ni)。对Ni—Mo合金的焊接件而言,在焊缝区析出 M_2C 会造成刀口

腐蚀;在热影响区析出 M_6C 会造成晶间腐蚀。在经过150℃、20%的 H_2SO_4 浸泡100小时后,Hastelloy B合金焊件产生刀口腐蚀和晶间腐蚀;而Hastelloy B—2合金则无此弊病。Hastelloy B—2合金在盐酸介质中的等腐蚀曲线如图7所示。Hastelloy B—2合金不仅在盐酸介质中具有优良的耐蚀性,

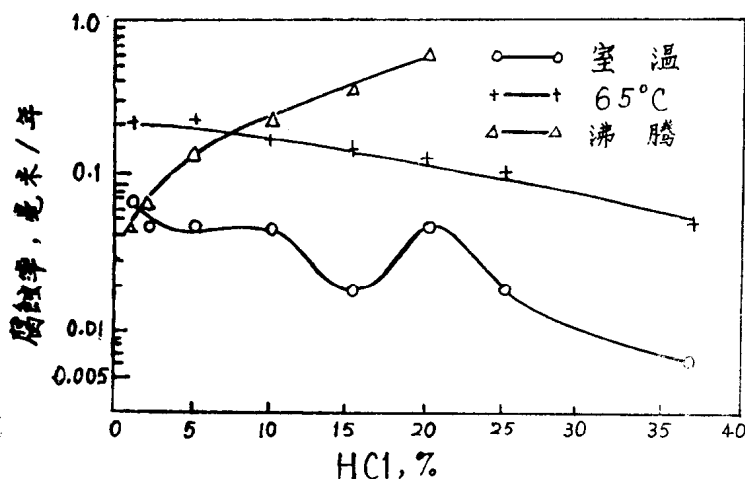


图6 0Ni65Mo28Fe5V合金在不同浓度、不同温度盐酸中的腐蚀率

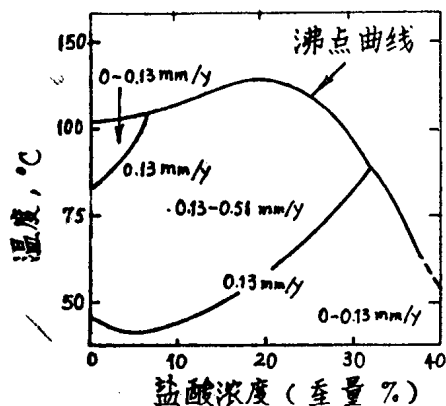


图7 Haastelloy B—2合金在盐酸中的等腐蚀曲线

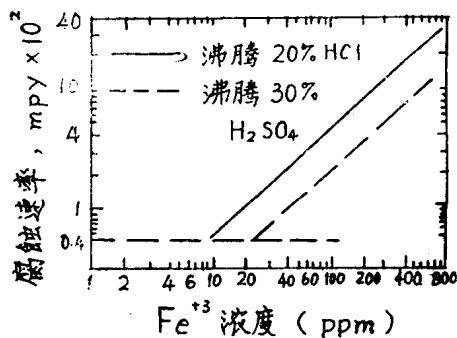


图8 Fe^{+3} 离子浓度对Hastelloy B—2合金腐蚀速率的影响

而且有优良的成型性，焊缝凝固时的开裂敏感性亦低。但是，由于该合金不含铬，不能用于带有氧化性的环境中。例如，在沸腾的20%盐酸中掺入100ppm的三价铁离子，其腐蚀速率就要增加一个数量级（图8）。另外，由于在600~800℃温度范围析出金属间相，所以在此温度下呈中温脆性。如焊接条件易造成这一脆性，则还应施加焊后退火，不宜残存拉伸应力。

二、Ni—Mo—Cr和Ni—Mo—Cr—W系耐蚀合金

Ni—Mo合金虽然在盐酸还原性介质中具有优良的耐蚀性能，但当有氧或氧化剂存在时，其耐蚀性显著降低。例如，Hastelloy B在70℃充入空气的5% HCl中，其腐蚀速度要比在同一浓度不充空气的HCl中高三倍。为了克服Ni—Mo合金在还原—氧化复合介质中耐蚀性不佳这一缺点，在Hastelloy A基础上发展了用15%Cr代替部分Fe，并加入W强化的第一种Ni—Cr—Mo（—W）型耐蚀合金Hastelloy C（Cr16%，Mo16%，W4%，余为Ni）。Hastelloy C除耐室温下所有浓度的盐酸腐蚀外，在70℃以下充空气的盐酸中耐蚀性显著优于Hastelloy A。

Hastelloy C也有焊后产生晶间腐蚀的问题，它与Ni—Mo合金有许多类似之处。这种合金在盐酸介质中的腐蚀速率如图9所示。即在600~1150℃敏化处理后，出现晶间腐蚀，耐蚀性下降，而且伴有合金脆化现象（图10）。许多试验证实，Hastelloy C合金在敏化区加热时，析出大量 σ —相。同时还有 M_6C 型碳化物析出。有人指出，也有 μ 相（ Co_7Mo_6 ）型和P相以及痕量的 $Cr_{23}C_6$ 存在。 σ —相的大致成份为：Ni23~32%、

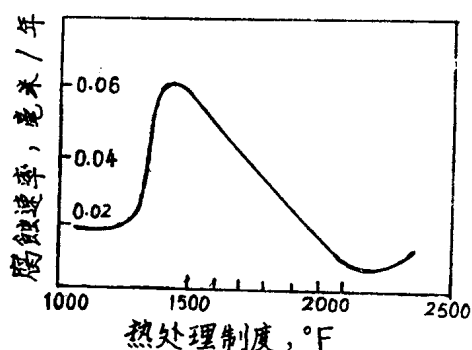
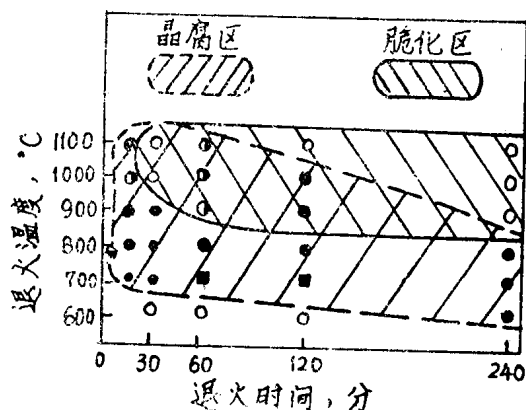
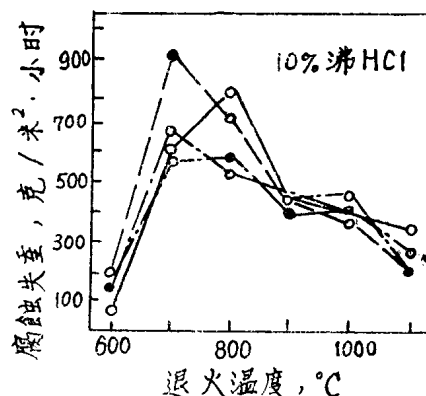


图9 Hastelloy C在盐酸中耐蚀性与热处理温度的关系



○ 无晶腐；● 中等晶腐；
⊙ 新晶腐；■ 严重晶腐。



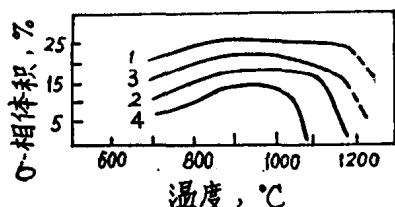
热处理时间：○—○ 30分；●—● 60分
●—● 120分；●—● 240分

图10 Hastelloy C 的晶间腐蚀、耐蚀性、脆化倾向与热处理温度的关系

Cr18~54%、Mo15~58%、也可能含有Fe。Hastelloy C的晶间腐蚀主要是由于 σ 相等析出引起晶界耐蚀元素Cr和Mo的贫化所致。

防止Hastelloy C焊后晶腐，也是从热处理和合金化两方面着手。焊后在 $1225 \pm 15^\circ\text{C}$ 固溶处理，能使 σ -相充分溶解，从而消除其有害作用。稳定化处理工艺如下：缓慢加热至 $1160 \sim 1185^\circ\text{C}$ 并保温1小时，然后炉冷至 1105°C 并保温2小时以上，随后在30分钟内冷却到低于 565°C 。经这种处理后，(Co, Fe, Ni), (Mo, W)₂相呈不规则析出，沿晶界不呈网状；由于合金在高温下停留较长时间，从而加速了Mo和Cr的扩散，因此效果较好。它可以防止合金在焊后被敏化。但是，这种稳定化处理使合金强度比固溶态的高，而塑性及冲击韧性则显著下降。

比较理想的解决Hastelloy C晶腐问题的方法还是控制合金成分。C、Si、Fe、Nb、V、Al均为有害元素，特别是Si的有害作用最大。Si显著加速 σ -相的形成（图11）。在Hastelloy C合金成分的基础上，



1—0%Si; 2—0.9%Si; 3—1.7%Si;
4—2.7%Si

图11 Si对Ni—Cr—Mo合金(Cr25%、Mo~15%) σ -相行为的影响

将碳降至 $\leq 0.02\%$ 、硅降至 $\leq 0.08\%$ ，即为Hastelloy C-276合金。这种合金在焊后不经热处理的条件下，其晶间腐蚀的敏感性大大下降。除耐硫酸、氯气及海水腐蚀外，在 $7\% \text{H}_2\text{SO}_4 + 3\% \text{HCl} + 1\% \text{FeCl}_3 + 1\% \text{CuCl}_2$ 中的点蚀腐蚀率仅为0.61毫米/年。

• 6 •

国外研究了在 $650 \sim 1090^\circ\text{C}$ 温度范围内金属间化合物 μ 相的析出行为。发现降低钨与铁量之后，由于控制了电子空位数，从而抑制了这类金属间相的析出。Hastelloy C-276合金尽管在焊后不敏化，但在 $650 \sim 1090^\circ\text{C}$ 温度范围长期时效后，由于存在着钨，从而在晶界析出碳化物外，还大量析出 μ 相，造成耐蚀性下降。在Hastelloy C-276合金成份的基础上，除进一步将碳降至 $\leq 0.015\%$ 外，还把含钨量降至零，即产生了Hastelloy C-4合金。该合金即使在 $650 \sim 1090^\circ\text{C}$ 温度范围长时期时效（例如100小时）后，也未发现 μ 相（图12），从而有较高的塑性和优良的耐蚀性（图13~14）。

三、Ni—Cr—Mo—Fe系耐蚀合金

五十年代初期发展起来的Hastelloy F (Ni47Cr22Fe17Mo7)与Hastelloy C相比，由于含铬量高、含钼量低，在一些氧化

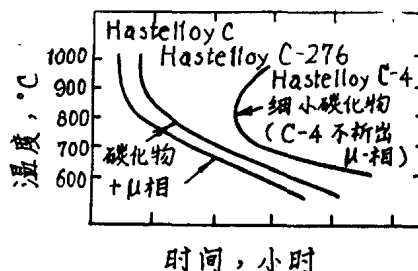


图12 Hastelloy C-276、Hastelloy C-4合金的时间—温度—脱溶(TTP)曲线

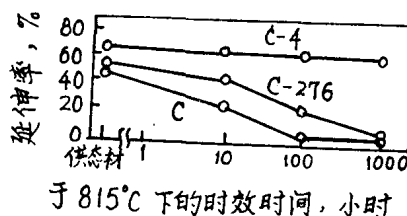


图13 Hastelloy C、C-276及C-4时效后的延伸率

性介质和在氧化性强的氧化—还原混合介质中具有良好的耐蚀性，甚至优于Hastelloy C(表2)。

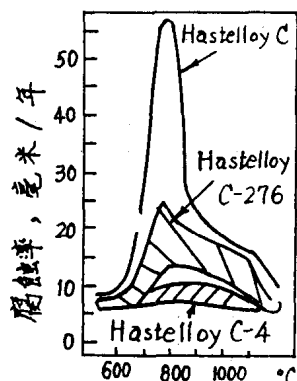


图14 Hastelloy C、C—276 及 C-4 热处理后耐蚀性的变化(在诸温度下时效1小时，于10% HCl中沸腾试验)

表2 Hastelloy F、B及C在1N HCl₁ + 1N FeCl₃中的耐蚀性

合金牌号	试验时间, 小时	腐蚀速度, 密耳/年
Hastelloy B	20	2050.00
Hastelloy C	114.5	2.29
Hastelloy F	114.5	0.11

1967年又新发展出NARloy—3耐点蚀合金，其主成份(%)为：C≤0.03、Cr17~25、Ni35~45、Mo10~15、Si≤1.5，余为Fe。它在70℃、浓度为15~35%的HCl中的耐蚀性与Hastelloy C相当(图15)。

我国研制过的0Cr18Ni60Mo17(新八号)及0Cr20Ni43Mo13(新九号)亦属这类合金。0Cr20Ni43Mo13合金在10%HCl介质中的耐蚀性如表3所示。

应该指出，Ni—Cr—Mo—Fe耐蚀合金由于合金化程度(Ni、Mo含量)较低些、综合性能(冶炼、冷热加工、焊接及机械性能等)良好，所以它的成本比Ni—Mo—Cr类合金要低。

四、几个主要耐蚀合金的化学成分和一般性能

1. 化学成分：

耐盐酸腐蚀的几个主要合金的化学成分如表4所示。

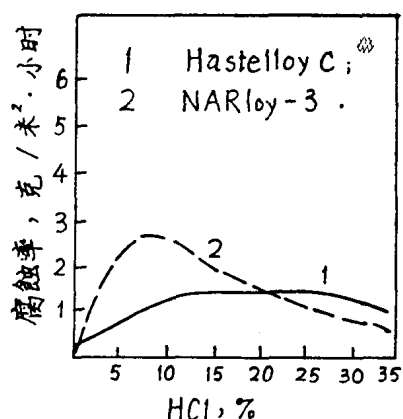


图15 NARloy—3和Hastelloy C在70℃HCl中的耐蚀性对比

表3 0Cr20Ni43Mo13合金在10%HCl介质中的耐蚀性

试验温度, °C	试验时间, 小时	腐蚀率, 克/米²·小时
30	64	0.2838
50	28	1.1290

2. 室温机械性能

诸合金的室温机械性能如表5所示。

3. 物理常数

诸合金的物理常数示于表6。

五、结语

表4 耐盐酸腐蚀的几个主要合金的化学成份 (重量%)

合金牌号	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	W	Fe	注
Hastelloy B	≤0.05	≤1.0	≤0.3	≤0.03	≤0.025	余	≤1.0	26~30	/	4~6	V0.2~0.4
Hastelloy B-2	≤0.02	≤1.0	≤0.1	≤0.03	≤0.04	余	≤1.0	26~30	/	≤2.0	Co≤1.0
Hastelloy C	≤0.03	≤1.0	≤0.7	≤0.03	≤0.03	余	15~17	16~18	3.0~4.5	≤7.0	
Hastelloy C-276	≤0.02	≤1.0	≤0.05	≤0.03	≤0.03	余	14.0~16.5	15.0~17.0	3.0~4.5	4.0~7.0	Co≤2.50, V≤0.35
Hastelloy C-4	≤0.015	≤1.0	≤0.08	≤0.03	≤0.04	余	14.0~18.0	14.0~17.0	/	≤3.0	Co≤2.0
0 Ni65Mo28Fe5V	≤0.05	≤1.0	≤0.3	≤0.030	≤0.025	余	≤1.0	26~30	/	4~6	对焊件,C可≤ 0.03,V可1.5
0 Cr18Ni60Mo17	≤0.05	≤1.0	≤0.7	≤0.03	≤0.03	余	17~19	16~18	/	≤10	
0 Cr20Ni43Mo13	≤0.05	≤1.0	≤0.7	≤0.03	≤0.03	42~44	19~21	12.5~13.5	/	余	

表5 诸耐蚀合金的室温机械性能

合金牌号	室 温 机 械 性 能						热处理状态
	σ_b kg/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	δ %	ψ %	α_k kg·M/cm ²		
Hastelloy B							
Hastelloy B-2	90.8	41.9	61				1066℃固溶
Hastelloy C	91.8		43.4	52.9			1200℃固溶
Hastelloy C-276	81.9	44.1	67				1149℃固溶
Hastelloy C-4	81.3	42.7	54				1066℃固溶
0 Ni65Mo28Fe5V	92	39.6	50	/	/	/	1160℃固溶
0 Cr18Ni60Mo17	82	/	62	77	37		1200℃固溶
0 Cr20Ni43Mo13	77	38	45	50	17		1200℃固溶

表6

诸合金的物理常数

合金 牌 号	密 度 g/cm ³	熔 点 ℃	膨胀系数 × 10 ⁻⁶ mm/mm·℃	比 热 cal/g·℃	热导系数 cal·cm/cm ² ·s·℃	弹性模量 kg/mm ²
Hastelloy B						
Hastelloy B-2	9.22		20~93℃: 10.26 20~538℃: 11.70	0.089	0℃: 0.027	22℃: 21980 538℃: 19180
Hastelloy C	8.94	1350	15~200℃: 12.0 15~900℃: 14.5	0.092	0.03	28℃: 21400 900℃: 16200
Hastelloy C-276	8.89	1360~1371	24~93℃: 11.16 24~927℃: 15.84	0.102	37.8℃: 0.024	24℃: 20860 538℃: 17850
Hastelloy C-4	8.64			0.097	23℃: 0.024	
0 Ni65Mo28Fe5V	9.24	1320~1350	0~1000℃: 14.6	0.0907	0.027	
0 Cr18Ni60Mo17						
0 Cr20Ni43Mo13			17~200℃: 14.40 17~900℃: 15.85			

作为在含盐酸介质中使用的金属材料而言,镍基合金可望有优良的耐蚀性能。其中,Ni—Mo合金在还原性盐酸介质中的耐蚀性优良。典型牌号是Hastelloy B。但是由于Hastelloy B合金通过敏化温度区时,会沿晶界析出富钼的碳化物相及金属间相,从而造成贫钼区而具有晶间腐蚀倾向。Hastelloy B—2是从化学成分方面改进Hastelloy B的典型牌号,由于它严格限定了C、Si及Fe的含量,从而消除了焊后的晶间腐蚀倾向。但是,由于该类合金不含铬,不能用于带有氧化性的盐酸介质中。

Ni—Mo—Cr和Ni—Mo—Cr—W系合金适用于带氧化性的盐酸介质中,其典型牌号是Hastelloy C。Hastelloy C合金亦有晶间腐蚀倾向。降低其C和Si的含量,即为Hastelloy C—276合金。这种合金在焊后不热处理的条件下,晶腐敏感性大为降低;但由于它含有钨,在650~1090℃温度范围内

经长期时效后,仍会在晶界析出大量金属间相及碳化物,从而使耐蚀性下降。如这类合金不含钨,而且进一步降低含碳量,即为Hastelloy C—4合金。这种合金不论在焊后,还是在中温长期时效后,耐蚀性均无明显的下降。

Ni—Cr—Mo—Fe系合金由于含铬量高、含钼量低,在一些氧化性介质和氧化性强的氧化—还原混合介质中具有良好的耐蚀性,甚至优于Hastelloy C。这类合金由于合金化程度低、综合性能好,成本较低廉。

总之,要根据使用介质电化学方面氧化—还原特性的不同,选择不同类型的镍基合金,主要考虑Ni、Cr、Mo,特别是Cr、Mo含量及其配比,以与介质的电化学特性相适应。为了提高耐蚀合金在焊后或中温长期时效后的耐蚀性能,对合金的含C量和Si量有要求越来越少的趋势。

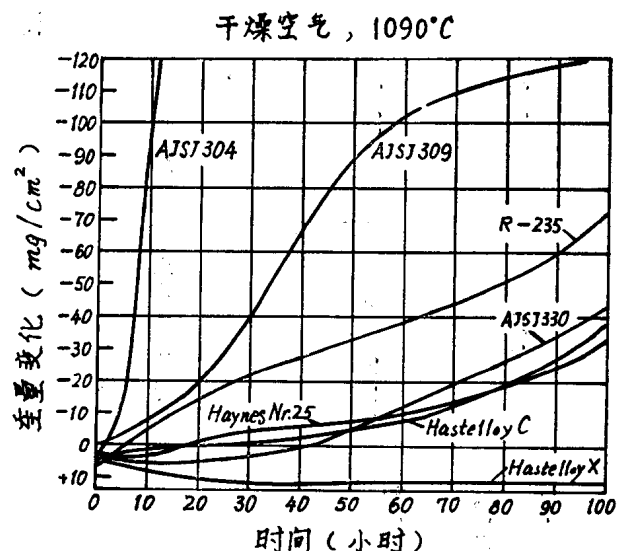


图24 Hastelloy X和对比合金在1090℃干燥空气中的氧化 [18]

(上接27页)制造和运行中面临的最大难题。为了克服这个困难,通过改变合金成分而发展了能够耐各种侵蚀性物质的材料。有耐盐酸和氯化物的材料,有耐硫酸和混合酸的材料,还有耐氧化介质和还原介质及碱金属氢氧化物的材料。

上面概括介绍了镍合金的化学腐蚀性能、力学性能和工艺性能,指出了合金的缺点和产生的原因,并从最新技术角度讨论了补救措施。

参考文献(略)

韩国忱 译自

《Werkstoffe u. Korrosion》,

1960. №6, P357~368

化工设备用新型镍基合金

[西德]

W. Katz

引言

为了采用新技术新工艺, 化学工业对材料的要求, 特别是耐高温有机酸和无机酸的要求越来越高, 因此镍基金属材料引起了设计和生产部门的极大重视。化学工业迄今使用着的Cr-Ni钢并不总能满足诸如凝聚、脱水、分解以及合成等许多过程的要求了。在Ni-Cr-Fe-Mo等系合金中, 能够适应上述用途的材料不乏其例, 尤以各型Hastelloy合金为人们所熟悉。有些国家又给这类合金冠以各种商品名称, 如Bergir、Euzonit、Superantinit、RemanitH、Hastelloy、Corronel、Chlorimet、Ni-o-nel等。此外还有用于特殊目的无钼Ni基合金, 如Inconel、Inconel X、低碳镍合金等。

1、耐酸镍合金

钼的作用

镍中加钼可改善抗非氧化酸(主要是各种浓度的盐酸和稀硫酸)的能力。合金的耐蚀性随Mo含量的增加而增强。但如果酸溶液中含有空气, 合金的含钼量需高到30%才能达到酸中不含空气时的同样低的蚀损水平。对可轧钼合金, 耐蚀性和加工性兼顾时的钼含量上限为30%左右。在充气和不充气的5%盐酸和10%硫酸(50℃)中的蚀损与铸造合金钼含量的关系示于图1。

大工业生产系采用钼铁作原料, 原料中含有4~7%的铁。铁对耐蚀性有一定影响, 当含量超过5~7%时明显不利。图2以5%沸腾盐酸为例给出了铁含量对Ni-Mo合金耐

蚀性的影响[1]。由图可见, 铁含量较高时, 合金, 尤其是含Mo30%的合金, 其耐蚀性明显恶化。

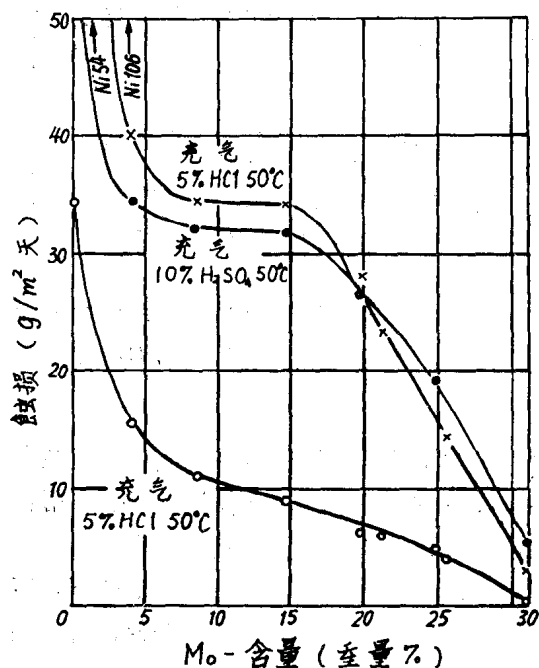


图1 Ni-Mo合金在稀盐酸和稀硫酸(50℃)中的蚀损与钼含量的关系, 按Flint [1]

那些不以钼作主要合金成分, 而是用钼来提高耐蚀性的合金, 例如Ni-Cr-Fe-Mo合金中的Hastelloy F和Ni-Fe-Cr合金中添加Mo的Ni-o-nel也属于这种情况。

耐蚀性

这些镍基合金的特点是耐盐酸、硫酸、

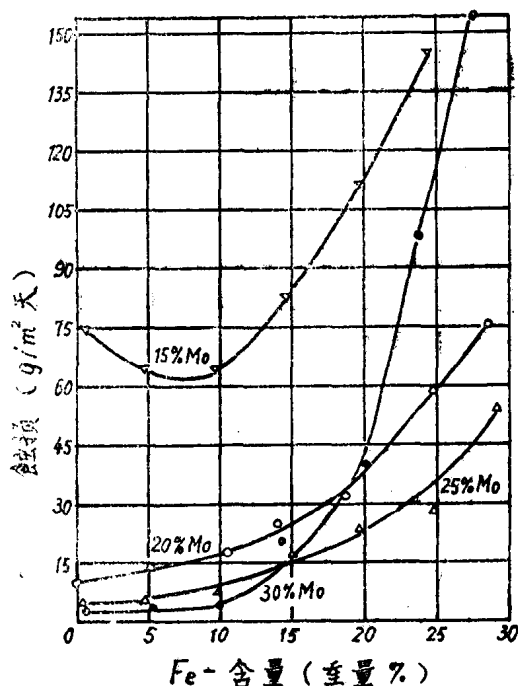


图2 含钼量不同的Ni-Mo合金的蚀损与铁含量的关系, 按Flint [1]

氢氟酸和磷酸的腐蚀性能好, 成功地用在高合金Cr-Ni钢不能胜任的场合, 主要用在温度较高、酸浓度较大以及有混合物(特别是含氯离子的混合物)存在的条件下。容器、热交换器、冷却器、管道及阀门等可用各类镍基合金(轧制的或铸造的)来制造。

表1所示为合金的化学成分和力学性能。为了进行比较, 表中还给出了两种含钼或钽的Ni-Cr钢的相应数据。

以前有一种含Mo约20%、以A为标记的合金, 它同含Mo30%的合金比起来已没有实用价值了。

含Mo28~30%和含Ni61%的Ni-Mo合金在任何浓度和温度的氢氟酸及还原介质中均有良好的耐蚀性。对于氧化环境, 例如浓度高于50%的沸腾硫酸或有氧化型金属盐

(如 Cu^{++} 和 Fe^{3+} 离子)和氧化型离子(如 M_2CrO_4)存在的环境, 则不宜使用这类合金。这类合金适用于以盐酸和硫酸为基的洗酸和含有机物的盐酸硫酸混合液。在这种情况下耐蚀性好是因为溶解度低的缘故。这类合金对应力腐蚀也不象Cr-Ni钢那样敏感。图3、4、5、6为合金在盐酸和硫酸中的腐蚀特性。

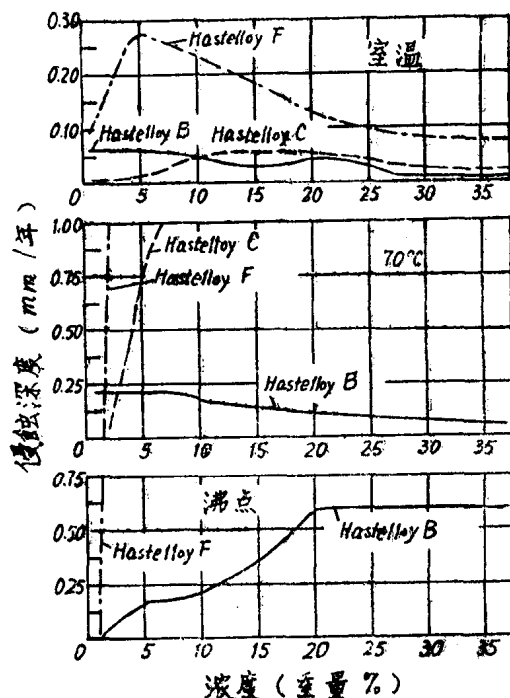


图3 Hastelloy B、C和F在盐酸中的蚀损与酸浓度、温度的关系 [2]

Ni-Mo-Cr合金

Ni-Mo合金中加Cr, 则因Cr使合金钝化而改变了合金的腐蚀行为, 特别是提高了合金在氧化环境中的抗蚀能力。Ni-Mo-Cr合金成功地用在含潮湿氯气的次氯酸盐(MClO)、亚氯酸盐(MClO_2)、铁盐、铜盐和铬酸盐(M_2CrO_4)溶液中。它是制造洗酸(盐酸和硫酸)浸入式加热器和氯化