

技术报告
TECHNICAL
REPORT

ISO/TR
17671-3

初版

2002-02-01

焊接——金属材料焊接的建议——

第3部分：

不锈钢电弧焊

Welding — Recommendations for welding

of metallic materials —

Part 3:

Arc welding of stainless steels



PDF免责声明

此PDF文件可能包含嵌入式字体。根据Adobe的许可政策，可以打印或查看此文件，但不可编辑，除非嵌入式字体得到许可并安装在计算机上进行编辑。在下载此文件时，各方接受不违反Adobe许可政策。ISO中央秘书处在此领域不承担任何责任。

Adobe是Adobe Systems Incorporated公司的商标。

可以在与文件相关的一般信息中找到用于创建此 PDF 文件的软件产品的详细资料；优化 PDF 创建参数用于打印。必须注意确保文件适合 ISO 成员机构使用。万一发现了与其相关的问题，请按照以下地址通知中央秘书处。

© ISO 2002

版权所有。除非特别指出，否则不经下面地址的ISO或注册国的ISO成员机构书面允许不能以任何形式或通过任何方式（电子或机械的，包括影印和缩印）复制或使此出版物的任何部分。

ISO版权办公室

Case postale 56 . CH-1211 Geneva 20

电话：+ 41 22 749 01 11

传真：+ 41 22 749 09 47

E-mail copyright@iso.ch

网站： www.iso.ch

瑞士印刷

目录

	页码
前言	4
导言	5
1 范围.....	6
2 参考.....	6
3 术语及定义.....	7
4 母材.....	7
5 保存与处理.....	7
6 焊接耗材.....	8
7 制造.....	8
8 焊接质量要求.....	10
9 变形.....	10
10 焊后清理.....	11
附件A 奥氏体不锈钢的焊接	12
附件B 铁素体不锈钢的焊接	18
附件C 奥氏体-铁素体不锈钢的焊接.....	21
附件D 马氏体与马氏体-奥氏体不锈钢的焊接.....	25

ISO/TR 17671-3:2002(E)

前言

ISO（国际标准化组织）是世界范围的国家标准机构联盟（ISO 成员机构）。通常通过 ISO 技术委员会进行国际标准的编制工作。对技术委员会确立的主题感兴趣的每个成员机构有权在委员会上提出异议。国际组织、政府及非政府与 ISO 联络也可以参与此工作。ISO 与国际电气技术委员会（IEC）对电气技术标准化的所有问题进行密切合作。

根据 ISO/IEC 指令，第 3 部分中给出的规则起草国际标准。

技术委员会的主要任务是准备国际标准。被技术委员会采用的草拟国际标准传送给成员机构进行投票。作为国际标准的出版需要至少 75% 的成员机构投票支持。

在特殊情况下，当技术委员会已经从通常出版的国际标准收集了不同种类的数据时（例如：“技术水平”），可以通过参与成员大半数票确定出版一份技术报告。技术报告完全提供情报并且在认为它提供的数据不再有效或有用前不必进行审核。

注意 ISO/TR 17671 这部分的一些组成部分可能是专利权的主题。ISO 不应负责确定任何或所有此专利权。

由技术委员会 ISO/TC44 准备 ISO/TR 17671-3，焊接及联合程序，小组委员会 SC10，金属焊接领域中的统一要求。

ISO/TR 17671 由总标题焊接——金属材料焊接的建议下的下列部分构成：

- 第1部分：电弧焊的一般指南
- 第2部分：低合金钢的电弧焊
- 第3部分：不锈钢的电弧焊
- 第4部分：铝及铝合金的电弧焊

引言

为涵盖所有适合不锈钢国际钢材标准的不同钢材类型，将分几个附件发行 ISO/TR 17671 的该部分。

当 ISO/TR 17671 的该部分用于合同参考时，订购方应声明需要遵循适当的文件及附件。

ISO/TR 17671 的此部分给出了令人满意的产品和焊接控制的一般指南及可能发生的一些有害现象的详细资料及可以避免的方法建议。虽然应用标准可能有额外的要求，但是对于所有不锈钢一般是适用的并且不管制造的类型如何都是适用的。不包含焊接中允许的设计应力、试验方法和验收级别，因为它们由制造的操作条件决定。可以从相关应用标准中获得这些详细资料。

ISO/TR 17671 的这部分包含不锈钢熔焊的附加详细信息，并结合 ISO/TR 17671-1 中的一般建议进行理解。

技术报告

焊接—金属材料焊接的建议—

第3部分：

不锈钢的电弧焊

1 范围

ISO/TR 17671 的这部分给出了不锈钢熔焊的一般建议。附件 A 到 D 中给出了关于奥氏体、奥氏体-铁素体、铁素体及奥氏体不锈钢的详细信息。

2 参考

ISO 3581, 焊接耗材——用于不锈钢与耐热钢手动金属电弧焊的药皮电焊条——分类

ISO 5817, 焊接——钢、镍、钛及其合金中的熔焊焊缝（电子束焊除外）——缺陷的质量等级

ISO 8249, 焊接——奥氏体与双联铁素体—奥氏体铬镍不锈钢焊接金属中铁素体数的确定

ISO 9692-1, 焊接与联合工序——接缝准备的建议——第1部分：钢材的手动金属电弧焊、气体保护金属电弧焊及气焊

ISO 9956-2, 金属材料焊接工序的规范与批准——第2部分：电弧焊的焊接工序规范

ISO 14175, 焊接耗材——电弧焊与切割的保护气体

ISO 14343, 焊接耗材——用于不锈钢与耐热钢电弧焊的焊丝电极、焊丝与焊条

ISO/TR 15608:2000, 焊接——金属材料分组系统指南

ISO/TR 17671-1, 焊接——金属材料焊接建议——第1部分：电弧焊的一般指南

EN 10088-1:1995, 不锈钢——第1部分：不锈钢列表

EN 12073, 焊接耗材——带或不带气体保护的不锈钢和耐热钢的金属电弧焊管状芯焊条——分类

ISO/TR 17671-3:2002(E)

3 术语及定义

对于ISO/TR 17671的此部分，下列术语及定义适用。

3.1 钝化层

不锈钢表面上薄薄的、透明的、紧固的黏贴膜、它可以保护表面不受腐蚀。

3.2 稳定钢

包含强碳化物/氮化物-合成成分（通常为钛或铌）添加物的钢材，它可以限制碳化铬/氮化铬的形成，可以使不锈钢抗腐蚀，尤其是接近晶界。

3.3 非稳定钢

没有强碳化物/氮化物-合成成分添加物的钢材（见3.2）

3.4 铁素体数

FN

相对于基准样品而言，显示磁引力的数，因此，铁磁体相含量的比例大约等于0%到10%范围间的铁素体（ δ 铁素体）的含量，但它更容易测量。

[ISO 8249]

3.5 自耗嵌块

填料金属的长度，该填料金属要符合焊接准备的形状与尺寸，并且在焊接过程中要熔化，以成为接缝的完整部分。

3.6 保证强度

Rp0,2

可以使试验样板的原始规格长度塑性延长0.2%的拉伸负荷

4 母材

ISO/TR 17671 的该部分适用于奥氏体、铁素体、马氏体及奥氏体/铁素体类型的不锈钢，符合 ISO/TR 15608:2000 中的 7-10 组。

5 保存与处理

在保存、处理或制造不锈钢时，应控制环境，以避免赋予不锈钢良好抗腐蚀性的钝化层永久性损坏。在任何保存阶段、制造及运输过程中应保护不锈钢，以免受到污染及表面损坏。

应避免不锈钢与碳钢、铜、油漆、染料及带材等其他材料之间的接触（会导致钝化层的损坏）或其它不良影响。当这种接触不可避免时，应注意所有残渣已被清除。

不锈钢支架应十分牢固，并采用不会污染不锈钢的材料（例如，干木材或不锈钢）以安全的方式加衬。不应使用无衬的或上漆的碳钢支架。起重抓钩应由非污染材料制成或用非污染材料做里衬。

焊接夹具、接地夹子或焊件支架也应由非污染材料制成或用非污染材料做里衬。

6 焊接耗材

在母材及特殊应用方面应选择填料材料，并应遵循相关标准。

如果使用自耗嵌块，它应与相关的填料金属成分一致。

7 制造

7.1 概述

不锈钢的制造设备应与其它机件隔离，并应避免接触任何可能的污染材料，例如铅、锌、铜、铜合金或碳钢等。

成形工具在使用前应进行彻底清理，以避免交叉污染。成形操作中使用的所有润滑剂应从工件上清除。

只应使用不锈钢专用工具。这尤其适用于砂轮与钢丝刷。

焊接使母材变热，这会导致焊接金属上与焊接周边区域氧化膜的形成。如果焊接将暴露于腐蚀介质中或其它原因（见第 10 条），那么就应去除这些氧化物与药皮电焊条、药芯焊丝及埋弧焊产生的熔渣。

在准备熔面时，应通过切割面上机械加工足够的深度来避免热切割工序中的氧化、硬化与普通污染。在剪切过程中，可能会出现裂纹。也可以要求在焊接之前去除裂纹。

如果切割边缘没有形成熔面，应注意要保证剪切或热切割不会反过来影响制造的性能。

应避免硬冲压，但是在不得不使用硬冲压时，应注意在高应力或腐蚀区域应用时存在的危险，买方应对这些标记位置做出指导。射线照相检查中标记所用的

压痕应遵循类似的防范措施。

待检及待批准的焊接不应喷漆，或者在验收后进行处理。

7.2 焊接详细信息

根据ISO 9956-2应在适用的焊接工序规范（WPS）中说明焊接详细信息。

附件A到D中给出了焊接方面的其他详细信息。

ISO 5817给出了接缝错误排列的验收标准。对于某些应用（例如管件焊接）与焊接工序，可能需要更小的公差。

在使用引弧板/引出板时，采用与制造使用的兼容的金属等级制造引弧板和引出板，并且与用于接缝的引弧板和引出板的厚度和边缘准备相似。

引弧板/引出板的去除应采用不会反过来影响母材与焊缝熔敷性质的方法。应进行检查以证明母材与焊缝熔敷要免除不可接受的缺陷。

在只从一侧进行焊接时，为了保持接缝的抗腐蚀性，有必要保护根部不受大气污染。通常通过TIG或等离子焊接工序来实现这种焊接的根部焊道。

注意：同时也使用 Pulse MIG/MAG 技术。

7.3 焊接衬垫

永久性衬垫应包含不锈钢的适用等级，如果存在裂缝侵蚀的危险，则不应使用永久性衬垫。

在不适合使用结构的一部分作为衬垫材料时，要使用的该材料应满足设计规范的要求。

当使用铜作为临时性衬垫材料时，在熔合区域应将槽口加工成衬垫材料。应注意在焊接时存在铜传导的危险。可以通过在铜衬垫材料上镀镍或镀铬来减少这种危险。在有高热量输入时，铜衬垫可以进行水冷却。

衬垫材料应避免受到油脂、湿气、氧化物等的污染。

在使用临时性或永久性衬垫时，接缝的安排应保证实现要连接部分的完全熔合。

在需要防止焊缝反面氧化时，应采用适当的气源来进行吹洗。就是使用高纯度气体或气体混合物（符合ISO 14175，与母材及焊缝金属相兼容）吹过焊根。

其目的是防止大气污染，尤其是氧气，它可能导致焊缝中不可接受的缺陷，并/或降低其抗腐蚀性。

在进行根部吹洗时，焊接前吹洗的时间应足够以保证根部氧化的等级满足设计规范的要求。预先吹洗时间主要取决于气体流速、吹洗的体积，其次取决于吹洗气体密度及喷射点。

如果合同中规定了可允许的最大氧气等级，将有必要使用适当灵敏度的氧气分析仪来测量出口气体中的氧气含量。作为一项方针，它建议在开始焊接以前应进行十倍容量的气体更换。

气体吹洗持续时间要足够长，以保证完成的焊缝下侧表面氧化等级符合合同要求。

8 焊接质量要求

焊缝应避免缺陷，它可能会削弱制造件的使用性能。验收等级应符合现有的应用标准。如果没有应用标准，验收等级应以ISO 5817为依据。

不锈钢的特殊质量要求也应考虑在内，例如外观与抗腐蚀性，并应在合同中明确说明。

9 变形

焊件变形是由焊接中焊缝金属与邻近母材的非均匀膨胀与收缩导致的。在奥氏体不锈钢中，这种现象比纯钢更为显著，这是因为奥氏体不锈钢具有较大的膨胀系数与较低的导热性。

减小变形的几种特殊方法如下：

- 减小焊接金属体积；
- 平衡（双面）接头焊接；
- 减少热输入；
- 减少焊接层数；
- 分段退焊；
- 待焊接部件的预先安置；
- 工装与机械限制装置；
- 定位焊；

- 散热

应注意所选择的方法不能对焊接性质及整体结构产生不利影响。

10 焊后清理

10.1 概述

不锈钢焊件的抗腐蚀性明显受其表面条件影响。需要的焊后清理等级取决于焊接质量要求，并且应满足设计规范的要求。

可以通过几种工序进行焊后清理，可以单独使用，也可以联合使用。见10.2至10.6。

10.2 刷洗

应使用由不锈钢钢丝或其它适用材料制成的专用钢丝刷。一般来说，该技术不能用来去除黏着污染物。注意在使用机械旋转刷洗时，它可能会导致表面变形，产生微小裂缝，这将会降低其抗腐蚀性。有必要在刷洗后进行酸洗操作（见 10.5）。

10.3 喷砂

该技术用于去除黏着污染物，并赋予表面残余的压应力。推荐的喷射物质包括玻璃与不锈钢丸。这些应免于铁或碳钢污染。这也就是锤锻。

10.4 打磨

应使用专用无铁砂轮、磨带或磨轮。应避免过分打磨以防止表面损坏及母材变薄。该技术用于去除大量表面污染物并将焊缝平滑地融合到母材。

10.5 酸洗

酸洗是通过化学反应去除钢材表面的氧化物或表面层。酸溶剂的使用其成分取决于钢材的类型、酸洗温度及时间。需要小心去除所有酸洗产物。

10.6 电抛光

为了使光滑表面具有最佳的抗腐蚀性，电抛光通常用于非稳定不锈钢。

为了达到最佳的抗腐蚀性，最有效的清理工序是酸洗与电抛光，其次是天然的或诱发的钝化处理。

附件A 奥氏体不锈钢的焊接

A.1 概述

A.1.1 化学成分

EN 10088-1中列出了典型奥氏体不锈钢的化学成分。这些钢通常包含最少16.5%的铬，充足的镍及/或锰、碳与氮，以形成奥氏体微观结构。它们也可能包含其它成分的添加物，例如钼、氮、钛、铌、铜、硅或硫磺，以改善其特殊性能，例如抗腐蚀性、抗氧化性或机械加工性等。

A.1.2 微观结构

奥氏体不锈钢的微观结构由铁素体与奥氏体稳定成分的平衡决定。主要的铁素体稳定成分有铬、钼及硅，而主要的奥氏体稳定成分有镍、锰、碳及氮氮。利用Schaeffler、DeLong、W.R.C. 或 Espy图表，可以根据铁素体与奥氏体稳定成分的平衡预知将在焊缝金属中形成的结构。

奥氏体不锈钢包含一个奥氏体矩阵，在一些等级中，该矩阵可能包含少量 δ 铁素体，在焊接中如果没有加入填料金属，铁素体数量会增加。其它等级为全奥氏体，不包含铁素体，甚至是在焊接以后也不包含铁素体。

奥氏体不锈钢通常应用于固溶退火条件下，它会加热到约1 050°C，或者更高，然后快速冷却至室温。退火导致钢的软化并使 δ 铁素体含量降到最少，因此事实上，焊接过程中会形成 δ 铁素体的钢在退火条件下通常也不会含有铁素体。

A.1.3 奥氏体不锈钢的类型

A.1.3.1 标准的奥氏体不锈钢

大多数标准的奥氏体不锈钢并不都是纯奥氏体，如果没有添加填料金属，在焊接后它们会形成少量的 δ 铁素体。即使在有少量铁素体存在时，该类型中的标准不锈钢指的仍然是奥氏体不锈钢，例如EN 10088-1:1995中的1.4301、1.4401及 1.4436。

标准的奥氏体不锈钢中碳的含量通常少于0.06%。

为了使焊接过程中碳化铬的形成最少，便产生了许多标准等级的低碳型（< 0,03 %），改善了一定环境中的抗腐蚀性，例如EN 10088-1:1995中的1.4307、1.4404 及1.4432。

通过钛、或铌/钽添加物也可以实现标准等级的抗腐蚀性的类似改善，它们与碳结合，防止焊接中碳化铬的形成。这些等级是指“稳定”奥氏体不锈钢，例如 EN 10088-1:1995 中的 1.4541 与 1.4550。

A.1.3.2 纯奥氏体不锈钢

调整这些钢的成分平衡以获得特殊性能，例如低导磁率（无磁性），增强抗腐蚀性或高温蠕变/抗氧化性，使其在任何时候都为纯奥氏体结构，例如 EN 10088-1:1995 中的等级 1.4335。由于其低温时的高度韧性，纯奥氏体钢也可用于低温应用。

在这些钢中焊接过程中硬化裂纹的风险会增加。

超级奥氏体与增强的抗腐蚀性属于纯奥氏体类属。这些钢中铬含量增加并具有其它成分添加物，包括用于增强抗点蚀与裂缝侵蚀性的钼与氮以及用于增强抗酸腐蚀性的铜。镍含量的增加是用于稳定纯奥氏体结构。这些钢具有非常强的抗腐蚀性，并且为了保持母材的强抗腐蚀性，焊接过程中要求特别小心，例如 10088-1:1995 中的等级 1.4539 与 1.4547。

A.1.3.3 具有改善性能的其他变化

其它奥氏体不锈钢存在于化学成分已被调整以改善特殊性能的钢中。根据实际化学成分，每种等级应归入上述类型（A.1.3.1 与 A.1.3.2）的一种，并应采用类型防范措施进行焊接。

a) **具有高保证强度的氮合金奥氏体钢。**这些钢包含少量氮化物（最多 0.45%），导致了 $R_{p0.2}$ 增加。标准等级或低碳等级不锈钢中的氮可能会增加。氮是奥氏体稳定成分，并会减少焊接过程中的 δ 铁素体含量。

b) **耐热奥氏体钢。**高温下使用的钢包含的铬与/或硅含量会增加，以供应增强的抗氧化性。也可能添加钼、氮、铝、碳、稀土元素、钛与/或铌，以增强高温性能。

c) **具有改善机械加工性的奥氏体钢。**改善的加工等级包含的硫磺含量增加（最多 0.35%），并/或包含其它成分添加物，例如钙或硒，因此一般表现为降低的焊接性与抗腐蚀性。

A.2 焊接情况

A.2.1 焊接详细信息

ISO/TR 17671-1中列出的所有普通焊接工艺都适用于奥氏体不锈钢焊接。

为了减少变形、热裂纹及敏化或金属间沉淀的危险，热输入应少。

焊接奥氏体不锈钢时应避免预热，因为额外的热输入会增加变形、热裂纹及敏化与金属间沉淀的危险。

焊接接缝准备与碳钢所用的焊接接缝准备相似，尽管使用的角度与根部间隙不同，例如氮合金钢可能要求更宽的接缝准备。

在焊接薄片与板时，可以通过熔化接缝边缘进行焊接，不用填料金属。

A.2.2 焊接耗材

应根据厂商/供货方的建议选择所有耗材。

如果需要，应根据ISO 3581、ISO 14343 或 EN 12073选择填料金属/焊条。

标准奥氏体不锈钢的耗材设计通常要使堆焊熔合区域中铁素体含量介于3FN与15FN之间，以加强抗热裂纹性。

可以利用Schaeffler、De Long、W.R.C. 或Espy图表来确定耗材是否具有适当的铁素体含量，要将稀释效应考虑在内。

纯奥氏体不锈钢没有磁性。奥氏体中 δ 铁素体的存在会产生少量磁性，可以利用该特征来测量焊接后焊缝金属中铁素体的比例。

在母材方面，焊接耗材的化学成分通常有些超合金，以通过补偿合金损失、偏析效应、焊缝金属内含物与表面缺陷来优化抗腐蚀性。

纯奥氏体不锈钢要求使用大约相近的或稍微超合金的耗材，并且容易受热裂纹影响。因此，应遵循A.3.1中指出的防范措施。这种耗材包含更多的锰，以将热裂纹的风险降到最小。

超级奥氏体钢通常使用镍基耗材。

根据ISO 14175，TIG焊接的保护气体通常为氩、氢化氩、氮化氩或这些气体的混合物。

氩中氢或氮的添加（符合ISO 14175）通常会允许更高的焊接速度，而削弱含氢气体的性质也会导致清理焊缝。

因为现在可以有广泛的选择，应根据ISO 14175选择奥氏体不锈钢

MIG/MAG焊接所用的保护气体。。

A.3 焊接结果

A.3.1 裂纹

由于其固有的强塑性与韧性，奥氏体不锈钢很少出现“冷”裂纹。

然而一些奥氏体不锈钢焊件易受热裂纹影响，包括硬化过程中的裂纹（硬化裂纹）与焊缝金属或母材受热影响区域的裂纹（熔析裂纹）。该裂纹与杂质成分有关，例如硫磺与磷，与枝晶间区域及晶界分离以形成低熔点相。焊缝金属冷却过程中的收缩力使液膜分离，以产生裂纹。

硬化模式对于抗热裂纹具有巨大影响。奥氏体不锈钢可以硬化为铁素体、奥氏体或这两种的混合物，这取决于其成分。铁素体硬化导致对热裂纹更低的敏感度。因此，通常要平衡标准奥氏体不锈钢的化学成分以使铁素体硬化，使铁素体含量为W 3 FN，并降低硬化裂纹的风险（铁素体含量测量见ISO 8249）。

热裂纹同时也取决于焊接条件。高运行速度会产生珠状焊池，促进了杂质成分的中心线分离并增加了裂纹风险。对于优化焊接条件，电流与运行速度之间的平衡很重要。

避免热裂纹的其他建议包括以下各项：

- a) 对于标准奥氏体不锈钢，选择焊接熔敷中铁素体含量在3FN与15FN之间的耗材。
- b) 对于纯奥氏体不锈钢，选择低纯度等级、锰含量增加的耗材。
- c) 保证优化清洁度。
- d) 减少接缝限制。
- e) 使用低热输入，避免宽焊池
- f) 降低层间温度（最高150 °C）
- g) 降低运行速度。
- h) 焊池的宽度与深度比应大约在1: 1.5之间。

由于纯奥氏体不锈钢的硬化模式，它更容易受硬化裂纹影响。因此，在焊接纯奥氏体不锈钢时，有必要采取尽可能多的上述措施，但a) 除外。

A.3.2 机械性能

奥氏体不锈钢焊缝的保证强度与抗张强度通常与母材的保证强度与抗张强度差不多，或比其大。可塑性可能有所降低，但仍然良好。因此，通常不需要焊后热处理（PWHT）。

如果形成大量 σ 与 χ 等金属间沉淀，那么焊缝塑性与韧性会削弱。在使用大量热输入时，这通常只出现在含有大量铬、钼与硅的钢中。因此，高合金奥氏体不锈钢应避免大量热输入。

A.3.3 抗腐蚀性

A.3.3.1 敏化或焊缝

在母材与焊缝金属中，良好的抗腐蚀性取决于铬与钼的不均匀分布。所有碳化物与氮化物的敏化、或 σ 等金属间相的沉淀，它们可能会导致部分铬与钼损耗，所以应避免这些现象。使用低碳等级（ $\leq 0,030\%$ ）或使用稳定（含钛、铌/钼）钢与耗材可以使敏化风险降到最低。

应避免焊缝与受热影响区域（HAZ）的污染，以消除碳与氮传导的风险。因此，应避免使用 CO_2 含量超过 $2,5\%$ 的保护气体，除非耗材厂商/供应商特别推荐。为降低焊接中金属间沉淀的风险，热输入要少，层间温度要低。

A.3.3.2 金属超应力引起的腐蚀

当奥氏体不锈钢暴露在不利条件下（包括某些侵略性介质，例如卤化物溶液，升高的温度及施加的张应力）时，奥氏体不锈钢会出现应力腐蚀裂纹。如果环境标准也不利的话，焊接与打磨的残余应力也足以引起这种侵害。因此，保证容易受这种侵害的制造中的残余应力最小是明智之举。

使用铁素体或双联等级及具有高镍含量的超级奥氏体钢，抗应力腐蚀性会显著提高（然而，标准铁素体不锈钢等级将会显示降低的一般抗腐蚀性）。

A.3.4 变形

与碳钢相比，由于其增加的热膨胀与降低的导热性，奥氏体不锈钢明显比碳钢或其它不锈钢更容易受变形影响。第9条中给出了减小变形的建议。

A.4 焊后处理

A.4.1 热处理

奥氏体不锈钢通常不需要焊后热处理（PWHT）。然而，为了使铁素体含量

最少化或者为了减少分离/沉淀以优化抗腐蚀性，有时候冷变形后也需要热处理以减少应力。这种处理通常要求完全固溶退火，并且由于变形、下垂及氧化的风险，因此要求慎重考虑。如果不能实行完全固溶退火，450 °C左右的低温应力消除会有利于减小残余应力并减小变形。

A.4.2 清理

为了恢复焊件的抗腐蚀性，又必要去除焊接过程中产生的所有表面污染物。

第10条中给出了焊后清理建议。

附件B 铁素体不锈钢的焊接

B.1 概述

B.1.1 化学成分

符合EN 10088-1的铁素体不锈钢通常包含10.5%-30%的铬及最多0.08%的碳。为了其稳定性，有些类型也会包含下列成分中的一种或几种：最多4.5%的钼；1.6%的镍；2.1%的铝与钛、铌/钽或锆。在一些等级中，碳与氮的等级很低（ELI-ferritics）。

B.1.2 微观结构

根据铁素体与奥氏体形成元素的比率，这些钢的微观结构包括铁素体（纯铁素体）或带有一定数量马氏体的铁素体（半铁素体）。钢材供应商或厂商将会给出详细信息。

纯铁素体在950 °C高温以上容易受晶粒生长影响。这会导致韧性降低。通过热处理的改进不可行。

稳定铁素体不锈钢的晶粒生长较为不明显，半铁素体不锈钢的晶粒生长最为不明显。晶粒生长的程度取决于最高的温度、这一温度的时间及焊道的数量。因此纯铁素体不锈钢的焊接件只为薄墙厚度（最多2,5 mm）提供适当的服务。

半铁素体不锈钢厚部分的焊缝韧性比纯铁素体等级良好。从焊接温度快速冷却时，碳化铬沉淀在母材与相应的焊缝金属中。通过部分铬损耗，这些沉淀降低了其塑性与抗晶粒间腐蚀性。如果母材与相应的焊缝金属碳含量非常低或者通过钛、铌/钽或锆来稳定，这种损耗可以避免。

在550 °C-850 °C的温度范围内， σ 等的金属间沉淀会形成在（铬+钼）超过22%的钢中，致使室温脆化，在一些情况下，还会降低抗腐蚀性。通过加热至900 °C-1 000 °C，然后快速冷却至室温， σ 相会形成溶液。

在400 °C- 450 °C的温度范围内，475 °C脆化可能会发生在铬含量超过15%的钢中，使塑性降低。通过加热至大约540 °C并快速冷却至室温可以消除脆化。

B.2 焊接情况

B.2.1 焊接详细信息

可以通过手动金属电弧焊[MMA焊接(111)]、金属惰性气体电弧焊[MIG焊接(131)]、金属活性气体电弧焊[MAG焊接(135)]、钨板惰性气体保护焊[TIG焊接(114)]及等离子电弧焊(15)进行铁素体不锈钢焊接。

其它焊接工序,例如电子束焊接(51)、激光焊接(52)、抗高频焊接(291),也可以根据协议使用。

铁素体不锈钢容易受过度的晶粒生长影响。因此,应保持少量的焊接热输入,例如小焊池、高运行速度。

对于厚度超过3mm的半铁素体等级,可以使用200 °C-300 °C范围内的预热。层间温度应在相同范围内。

焊接中碳与氮的传导应尽量低,例如清洁焊缝区域、缩短焊弧长度。

B.2.2 焊接耗材

与母材的匹配成分相比,由于奥氏体焊缝金属较高的塑性,通常首选奥氏体焊接耗材。考虑到抗腐蚀性,焊缝沉积物的铬含量不应少于母材的铬含量。如果使用中存在硫磺传导的危险,与外界接触层应用铁素体或铁素体-奥氏体耗材焊接。

如果要求类似的热膨胀、类似的焊缝表面颜色或无镍焊缝,则也选择铁素体耗材。

使用或不使用填料金属都可以进行TIG焊接。

如果需要,应按照厂商/供应商的建议,在焊接前对药皮电焊条进行再次烘焙。

根据ISO 14175,保护气体应为以氩为主的混合物,例如M13,不包含二氧化碳、氢与/或氮。

B.3 焊接结果

B.3.1 裂纹

铁素体不锈钢的热裂纹通常不是问题。

这些钢的焊件容易受以下条件影响:

a) 低韧性导致的冷裂纹。在厚度超过3mm的部分(半铁素体),焊缝区域可以预热到200 °C-300 °C,并应避免高阻条件。

b) 应避免氢脆化（氢导致的裂纹），因此应注意尽量减少氢含量。

B.3.2 机械性能

奥氏体与铁素体耗材的焊缝金属的耐力与抗张强度应满足母材的要求。低塑性的半铁素体不锈钢应在冷成形前预热到200 °C-300 °C。

B.3.3 抗腐蚀性

铁素体不锈钢发生晶粒间腐蚀，除非通过极少的碳与氮含量、通过稳定性（使用钛、铌/钽或锆）或通过750 °C-800 °C温度范围间的退火避免铬损耗。具有少量铬含量、无镍的铁素体不锈钢表现出许多化学剂中较弱的钝化膜。对于侵略性较弱的条件，其抗腐蚀性是足够的。

B.3.4 变形

比起奥氏体不锈钢，铁素体不锈钢具有较高的导热性、较低的热膨胀系数，因此变形问题不是很显著。

B.4 焊后处理

B.4.1 热处理

焊接后700 °C-800 °C范围内的退火通常会改善HAZ与匹配焊缝金属的塑性，会减小残余应力。这种处理也会恢复非稳定铁素体钢的晶粒间抗腐蚀性。

B.4.2 抛光

为了恢复焊件的抗腐蚀性，有必要去除焊接过程中产生的所有表面污染物。

第10条中给出了焊后清理的建议。

附件C 奥氏体-铁素体不锈钢的焊接

C.1 概述

奥氏体-铁素体不锈钢，通常称为双联不锈钢，由于其强度及抗腐蚀性而使用。它们通常用于-50 °C- 250 °C的温度范围内。

C.1.1 化学成分

符合EN 10088-1的双联钢通常包含21%-28%的铬、3,5 % - 8,0 %的镍、0,1 % - 4,5 %的钼与0,05 % - 0,35 % 的氮。其中一些也包含铜和钨。

C.1.2 微观结构

双联不锈钢包含铁素体矩阵，其中具有大约45%-60%的奥氏体。根据等级，可通过1 020 °C -1 100 °C范围内的固溶退火然后快速冷却来实现该结构。

C.1.3 奥氏体-铁素体不锈钢的类型

C.1.3.1 低度合金

低度合金双联不锈钢，例如EN 10088-1:1995的等级1.4362，其钼含量非常少。其主要应用就是替代可能产生应力腐蚀裂纹的普通奥氏体不锈钢。

C.1.3.2 中度合金

最经常使用的双联不锈钢，例如EN 10088-1:1995的等级1.4462，就是含钼的中度合金等级。这些是主要用于化学、石化及离岸应用的通用钢。

C.1.3.3 高度合金

比起中度合金双联不锈钢，高度合金双联不锈钢，例如EN 10088-1:1995的等级1.4410，其铬、钼与氮含量更高，因此，它们经常应用于腐蚀性环境中。

C.2 焊接情况

C.2.1 焊接详细信息

通过奥氏体-铁素体平衡的优化与氮含量的增加，双联不锈钢的焊接性已得到改善。有害晶粒生长或焊接后HAZ铁素体含量过多的风险有所降低。

ISO/TR 17671-1中列出的所有普通电弧焊过程都适用于双联不锈钢焊接。不使用填料金属的焊接过程或进行极快速冷却的焊接过程，例如等离子电弧焊、激光束焊接、电子束焊接及电阻焊接，只可以在采取特殊防范措施时使用。

不建议使用无填料金属焊接，除非接缝在焊接后进行固溶退火，然后快速冷

却至室温。如果使用含氮的保护气体来改善奥氏体，无填料金属与焊后热处理的焊接可以提供符合要求的性能。

接缝准备应符合ISO 9692-1，但是对于V型接缝与双V型接缝，有时建议使用比奥氏体不锈钢更宽的角度，以实现良好渗透。在使用TIG 或 MIG/MAG焊接根部焊道时，建议使用比奥氏体钢更宽的间隙，原因相同。

由于双联不锈钢的高强度，定位焊缝间的距离要小。

不需要预热，但最高也可以预热到100 °C，以去除表面湿气。

双联不锈钢的热输入在一定限制内。过低的热输入导致高冷却速率，这会导致高的铁素体等级。过高的热输入导致金属间相的沉淀。低度与中度合金类型通常以0,5 kJ/mm -2,5 kJ/mm的热输入焊接，层间温度低于250 °C。对于高度合金类型，热输入范围通常限制在0,2 kJ/mm -1,5 kJ/mm，最大层间温度在100 °C -150 °C。这些数据只是提供了一般建议。同时也要考虑焊接过程与工件厚度的影响。

C.2.2 焊接耗材

为获得正确的焊缝金属微观结构，应使用含镍的填料金属超合金。在这种成分下，可以克服焊后快速冷却与根部焊道母材高度稀释的影响。

对于低度与中度合金类型，在侵略性腐蚀环境中，可以使用含铬、钼与氮的双联填料金属超合金，例如中度合金双联不锈钢可以使用高度合金双联填料金属。

所有保护气体都应根据ISO 14175进行选择。

推荐的TIG与等离子弧焊的保护气体为氩、氩-氮或最多含有3%氮的氩。应避免使用含氢保护气体。

对于MAG焊接，可以使用最多含有2.5%碳的氩、氩-氮-氧混合物、氩-氮-二氧化碳混合物、或最多添加3%氮的气体等标准气体。

对于药芯焊丝金属电弧焊，关于保护气体的详细信息应参考厂商的建议。

如果需要，推荐的备用气体应为氩、氩-氮混合物或纯氮，在特殊情况下，为氮/氢混合物。

对于埋弧焊，钛型焊剂通常具有较低的冲击值。偏碱性焊剂改善了冲击韧性。

然而，纯碱性焊剂会带来溶渣去除的问题。

C.3 焊接结果

C.3.1 概述

铬、钼及钨含量增加的双联不锈钢更容易受金属间相沉淀影响，它会对机械性能与腐蚀性产生不利影响。

C.3.2 裂纹

由于其铁素体固化模式，双联不锈钢对热裂纹的敏感度不高。

双联焊缝金属中的氢可用于延缓裂纹形成，这里的氢具有 $\sim 110 \text{ FN}$ 的很高的铁素体等级（ $\approx 75\%$ 的铁素体），并具有与高抑制等级结合的高氢等级。

C.3.3 机械性能

双联不锈钢焊缝金属的强度总是大于相应母材的最小强度。

双联全焊缝金属拉伸值通常为 25% 左右。

对于用于含有硫化氢的物质中的中度与高度双联焊件，中度合金双联不锈钢通常需要 28 HRC 的最大硬度，而高度合金双联不锈钢通常需要 32 HRC 的最大硬度。

对于大多数应用，这些最大硬度限制都可以满足。由于张力是由随后的焊道产生的，所以要在厚的单面接缝的根部区域测量最大硬度。

焊缝的冲击韧性低于母材的冲击韧性，冲击韧性主要取决于铁素体等级、焊接过程及所用耗材。

C.3.4 抗腐蚀性

双联不锈钢的抗腐蚀性与其微观结构及化学成分有关。它们由于良好的抗点蚀性与抗应力腐蚀裂纹性而被经常使用。

使用母材与填料金属很重要，它可以调节 HAZ 与焊缝金属中可控制的并容许的奥氏体-铁素体平衡。如果铁素体含量介于 30 FN 与 100 FN 之间，通常可以达到验收性能。

氮是实现最大抗腐蚀性的基本合金元素。 TIG 与 MIG/MAG 焊接中会发生氮损失。药皮电焊条与埋弧焊产生的焊缝往往不显示这种氮损失。

C.3.5 变形

双联不锈钢焊接中的变形小于奥氏体不锈钢焊接中的变形。然而，由于其高保证强度，焊接后双联等级难以变直。

C.3.6 多孔性

与标准奥氏体不锈钢相比，含有大量氮（ $\geq 0,20\%$ ）的双联不锈钢在焊接中更容易形成多孔性。

在仰焊位置焊接时，产生多孔性的可能性增加。为了减少该问题，应熔敷薄焊道并避免焊弧过长。

为了增强抗点蚀性，可在保护气体中添加氮。其应用应限制在接缝的适当区域（根部与表层），以避免焊缝金属中过多氮的积聚及多孔性的产生。过高的保护气体流速也会增加多孔性的风险。

C.4 焊后处理

C.4.1 热处理

双联不锈钢通常不需要焊后热处理（PWTH）。

如果要进行焊后固溶退火，其温度通常应比母材建议的固溶退火温度高 30°C - 40°C ，以溶解金属间相。接着应进行快速淬火至室温。

C.4.2 清理

双联不锈钢可以使用相同的技术，详细信息见第10条。

附件D 马氏体与马氏体-奥氏体不锈钢的焊接

D.1 概述

D.1.1 化学成分

马氏体不锈钢，根据EN 10088-1，通常含有13%-17%的铬、最多4%的镍与最多1.0%的碳。根据化学成分可以划分为三种不同类型。

D.1.2 马氏体与马氏体-奥氏体不锈钢的类型

D.1.2.1 马氏体不锈钢

马氏体不锈钢等级在室温下为纯马氏体，因此非常硬而脆。为获得一些塑性与韧性，要求回火，结果降低了抗张强度。

D.1.2.2 马氏体-奥氏体不锈钢

碳含量少于0.1%的等级，其结构为在马氏体矩阵中包含5%-25%的奥氏体。结果，实现了较低的强度与硬度，并改善了塑性。

D.1.2.3 沉淀硬化马氏体不锈钢

通常通过添加近50%的铜、钛、铌、铝与钼进行沉淀硬化来强化马氏体等级，这些钢通常会将碳含量减少到0.1%以下。因此，这种钢包含带有沉淀物的调节的马氏体矩阵，通常通过淬火后两次热处理来实现。通过改变老化条件可以改变强度。

D.2 焊接情况

通常只使用钨极惰性气体保护焊[TIG焊接（141）]与手动金属电弧焊[MMA焊接（111）]焊接过程。然而，对于一些特殊应用，也可以使用等离子电弧焊（15）、金属惰性气体电弧焊[MIG焊接（131）]/金属活性气体电弧焊[MAG焊接（135）]、埋弧焊（12）及其它焊接过程。

使用奥氏体耗材或匹配的耗材可进行所有等级的焊接。如果使用奥氏体耗材，焊缝金属将不匹配母材强度。

应使用标准的热输入（例如手动金属电弧焊为0,5 kJ/mm - 1,5 kJ/mm），应避免过高或过低的热输入。

a) 马氏体不锈钢

碳含量超过0.1%的钢等级需要预热，一般需要预热到200 °C-300 °C，这根

据接缝几何学与应力等级来定。厚的部分与强应力接缝可能需要更高的预热。高碳含量使钢空气硬化。如果碳含量高达0.2%，焊接后要进行缓慢冷却。如果碳含量超过0.2%，需要焊后退火。如果焊后焊缝立即变硬回火，则可省略焊后退火。

b) 马氏体-奥氏体不锈钢

u 8 mm薄的部分不需要预热，稍厚的部分需要预热到100 °C-200 °C。通常使用匹配的填料金属。

c) 沉淀硬化马氏体不锈钢

沉淀硬化马氏体不锈钢等级通常使用匹配的耗材焊接。也可使用奥氏体耗材，但不能达到充分强度。在使用奥氏体耗材时不需要预热，这是因为通常碳含量低（少于0.1%），并且事实上是冷却过程中转化为马氏体而导致不能实现全部强度。

D.3 焊接结果

D.3.1 裂纹

马氏体不锈钢的热裂纹通常不是问题，然而，清洁度仍然很重要。

冷裂纹敏感性是氢等级、应力、冷却速度、化学成分的作用，如果是马氏体-奥氏体等级，还包括马氏体的百分比。裂纹的敏感度随着碳含量的增加而增加。低碳等级，即马氏体-奥氏体等级，对于冷裂纹较为不敏感，因此焊接可以不用预热。

可以使用预热以避免冷裂纹，根据合金，预热后可能需要焊后退火。

由于奥氏体具有较高的氢溶解性，使用奥氏体耗材明显降低了氢裂纹风险。

D.3.2机械性能

焊接过程中，焊缝与HAZ中产生淬火与回火影响，获得多种性能。在HAZ与马氏体焊缝金属中，焊态结构主要是未回火的马氏体，随后的焊道具有极小面积的回火。马氏体-奥氏体等级保留了一些奥氏体，其强度比马氏体等级低。

D.3.3 抗腐蚀性

抗腐蚀性通常比奥氏体等级的抗腐蚀性弱。马氏体等级出现裂缝与点蚀，尽管这些等级已经通过添加钼改善了这一点。这些钢通常不用在严重腐蚀环境中，

但经常选择这些钢来抗磨损与抗气蚀。马氏体-奥氏体等级的抗腐蚀性得到改善，已超过马氏体等级。

D.3.4 变形

比起奥氏体不锈钢，马氏体不锈钢具有较高的导热性、较低的膨胀系数，因此变形问题不是很显著。

D.4 焊后处理

D.4.1 热处理

如果使用奥氏体耗材焊接，马氏体不锈钢等级通常不需要PWHT。如果使用匹配的耗材，则需要焊后热处理以获得最佳性能。如果需要，母材应按照厂商的建议进行操作。

马氏体-奥氏体不锈钢等级通常不需要PWHT来实现最佳的机械性能。沉淀硬化等级通常在固溶处理条件下焊接。如果使用匹配的填料，热处理通常为固溶处理与淬火过程，接着是时效硬化。这应按照厂商/供应商的建议实施。

D.4.2 清理

由于难以进行良好的表面抛光，所以不建议对硬化沉淀物或高碳钢进行酸洗。

ICS 25.160.10

Price based on 21 pages

© ISO 2002 – All rights reserved