



铁素体不锈钢解决方案

性能 | 优点 | 应用



铁素体不锈钢基本指南





国际不锈钢论坛 (ISSF)

ISSF 成立于 1996 年，是一个非盈利性的研究机构，作为全球论坛服务于国际不锈钢产业的众多领域。ISSF 作为国际钢铁协会 (IISI) 的一部分，有独立的理事会、年度财务预算和秘书长。ISSF 目前由大约 67 个公司及 24 个国家的附属会员构成。这些企业总的生产能力占全球不锈钢产量的 85%。获取所有会员名单可登陆 ISSF 网站：www.worldstainless.org。

目录

概述：“铁素体不锈钢解决方案” JEAN-YVES GILET	5
前言：“铁素体不锈钢的时代已经来临” ICDA	6
用户对铁素体不锈钢的看法	9
“神奇的铁素体不锈钢”	13
耐蚀性	21
力学及物理性能	27
铁素体不锈钢的成形性	31
铁素体不锈钢的连接	37
产品和应用	45
附录：	
铁素体不锈钢的化学成分	59
表面加工	63
参考文献	64
ISSF 会员	66
致谢	67



南非德班高速公路钢结构桥，
采用了涂漆的铁素体不锈钢。

概述

“铁素体不锈钢解决方案”

JEAN-YVES GILET ISSF 市场开发委员会主席

当 2004 年 2 月 ISSF 首次商讨促进铁素体不锈钢发展的项目时，就有许多会员指出，在这一领域还没有开展过企业间的合作。

在市场开发委员会的指导下，由菲利普·理查德 (Philippe Richard) 领导的国际专家小组开始对铁素体不锈钢种及其应用方面的市场统计数据收集。他们得到来自世界各地的帮助，特别是日本。在日本，铁素体不锈钢市场的开发程度最好。

不久，国际铬发展协会 (ICDA) 提议加入这一自发的、共同资助的项目。作为国际贸易组织间合作的具体事项，我们非常高兴地接受了这一建议。

在该项目的启动阶段，镍价达到了顶点，并引起更多钢种价格的显著提高。因此 ISSF 对该项目给予了最大的关注。现在，我荣幸地提交项目结果，它将在最恰当的时间“给市场带来冲击”。

我完全相信，铁素体不锈钢能够也将会被更广泛地使用。本书的目的就是推动这些钢种的广泛使用。

不锈钢的“不锈”，是由于所含的铬使其具有了显著的耐腐蚀性。铁素体不锈钢也不例外，有的钢种仅含铬，有的钢种还含有其他元素（如 Mo、Ti、Nb 等）。大家熟知的标准铁素体不锈钢 409、410 和 430 在全世界都可买到。它们在洗衣机滚筒、排汽系统等许多重要应用领域中的使用都非常成功。实际上，铁素体不锈钢在无数领域中都有更加广泛的应用潜力。

更多新开发的铁素体不锈钢，如 439 和 441，能够应用于更广泛的需求领域。它们能够被加工成更复杂的形状，并能够用最普通的连接方式进行连接，包括焊接。由于添加了钼，铁素体不锈钢 444 对局部腐蚀的耐蚀能力至少可与奥氏体不锈钢 316 相同。

由于铁素体不锈钢不含镍，与奥氏体不锈钢相比，其成本更低、更稳定。因此它们能够：

- 在不锈钢家族中作为 304 的补充（304 仍然是使用范围最广、最普通的钢种）；
- 替代 200 系不锈钢（通常具有更好的使用性能）；

- 由于铁素体不锈钢的特殊技术性能，可在许多领域替代其他材料（如：碳钢、Cu、Zn、Al、塑料等）——使用这种替代材料的用户通常会在材料技术条件及寿命周期成本上受益；

铁素体不锈钢的“磁性”并不是一种“负面”质量，但不知为何将“磁性”与普碳钢联在了一起。其实相反，磁性正是这些卓越不锈钢的一种特殊性能，使他们不同于其他不锈钢。

为更好地使用铁素体不锈钢，需要：

- 对新用户进行成形与连接技术培训；
- 用户要向不锈钢生产商咨询，选择合适的钢种；
- 用户要从可靠的经销商处购买材料，这些经销商要能够提供有关钢种、质量和材料产地等质保书。

该项目团队高质量的工作和 ICDA 的有力支持，使我们能够在今天为不锈钢贸易提供一份参考资料。本书中还有来自用户的许多有趣的使用证明，显示出对新发展的真实兴趣。ISSF 对所有这些帮助表示感谢。



Jean-Yves Gilet

ISSF 市场开发委员会主席



前言

“铁素体不锈钢的时代已经来临”

FRIEDRICH TEROERDE 国际铬发展协会

首先，我要感谢国际不锈钢论坛（ISSF）邀请国际铬发展协会（ICDA）为《铁素体不锈钢解决方案》撰写前言——这是一部在铬的应用方面极具雄辩的著作。

ICDA 于 1990 年在巴黎成立，现在已拥有来自五大洲 26 个国家的 96 个会员。我们的使命是让世界了解铬的知识。

在钢铁中，铬被用于生产不锈钢和其他合金。在不锈钢中，铬是一种特有元素。它是使不锈钢“不锈”的合金元素，使钢具有显著的耐腐蚀和抗氧化性能。铬极易获得，又易以不锈钢的形式进行循环利用，不会对环境造成威胁。

作为代表铬生产商的团体，我们对这本手册进行了赞助，因为我们相信它能够促进铬工业的发展。铬从未被单独使用过。因此多年来，ICDA 市场开发委员会与 ISSF 等兄弟组织一起，开展了许多具有共同兴趣的项目。铬是所有不锈钢的基本元素——平均含量约为 18%。而不锈钢的年消费量正以每年 5% 的速率增长，在食品、饮料、采矿、汽车工业及建筑等领域的使用量也在不断增大。

你将认识到，由于证券市场的原因，奥氏体不锈钢中使用的镍价格波动较大。事实上，在过去几年中，镍价已攀升到前所未有的水平，对奥氏体不锈钢的成本造成极大影响。

不锈钢系列中的第二大品种，铁素体不锈钢则不含镍，但它含铬。经过我们自己的开发，使铬在不锈钢市场中获得显著增长。我们认为，应在此时强烈鼓励更广泛地使用铁素体不锈钢。

因此，当 ISSF 请我们支持其关于确定和开发新的铁素体不锈钢市场应用项目时，我们非常高兴。该项目的宏伟目标是，使这些卓越的钢种在不锈钢市场中实现可持续增长，和开拓一个光明的前景。

在寻找已有的铁素体不锈钢方面的资料时，你会发现大量不锈钢综合性资料，但专门的铁素体不锈钢资料却很少，虽然铁素体不锈钢已出现了将近 100 年！这促使 ISSF 编辑了这本手册。它提供了有关铁素体不锈钢的技术性能、优点及应用潜力等基本信息，并对生产制造提出了一些建议。它还试图纠正某些普遍的、关于铁素体不锈钢使用及特性方面的误解。

总之，ICDA 认为，镍价的波动性对不锈钢用户来说是一主要问题。我们渴望通过参与其可替代方案的研究，来对生产企业及其用户提供支持。我们清楚地看到，由于其可靠的

技术特性和成本优势，铁素体不锈钢的时代已经来临。

后面的内容将引导现有及潜在的不锈钢用户，将铁素体不锈钢的使用扩展到新的、令人激动的应用领域中去。



Friedrich Teroerde
ICDA 市场开发委员会主席





铁素体不锈钢是专业厨房
设备外表面的理想材料。



铁素体不锈钢以其表面光亮这一特征成为食品应用领域清洁卫生的象征。

用户对铁素体不锈钢的看法

在多年前，铁素体不锈钢的经济优势和技术优势就已在某些市场领域得到承认。下面这些由现有市场及开发中的市场提供的使用证明，显示这些优势正得到越来越广泛的理解。

STEFAN RAAB

**BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERATE 有限公司，
生产物资采购部主管，德国慕尼黑**

“我公司在约三分之一的产品中使用了不锈钢。我们使用这些材料，部分出于对功能的需求（因为它的耐蚀性），部分则出于对美观的需求。现在，铁素体不锈钢的比例已达到将近 50%。我们计划增加它的使用比例，主要是因为有许多应用领域采用铁素体不锈钢，可以使用户在有限的成本范围内获得不锈钢的功能品质和设计方面的利益。我们将在所有有耐蚀性及成形要求的部件上采用铁素体不锈钢。”



ROBERTA BERNASCONI

**CASSINETTA DI BIANDRONNO，
惠而浦有限公司全球技术—材料部经理，意大利**

“作为一家家用电器生产商，我们在冰箱和洗衣机上使用了铁素体不锈钢，并正计划在炊具和洗碗机上也使用铁素体不锈钢。成本优势使我公司和我们的用户都感到应当扩大这些钢种的使用量。”

“我们按照必须的制造要求来设计我们的产品，有时会选择有涂层的铁素体不锈钢，甚至在需要时选择有防指纹涂层的不锈钢，以确保较长的使用寿命。我们有时也会采用高合金的铁素体不锈钢。重要的是，能够从铁素体不锈钢的使用中获得经济效益。”

“我们发现，由于镍价很高，铁素体不锈钢非常适合于我们的产品，而且我们认为，未来无疑是属于铁素体不锈钢的。”



JEAN-LOUIS LALBA

SEB 集团 (TEFAL, ROWENTA, KRUPS, MOULINEX, ARNO, ALL CLAD, PANEX 等)，市场采购员，法国 RUMILLY

“我公司每年约使用 15000 吨不锈钢，其中约 40% 是铁素体不锈钢。本集团原来用铁素体不锈钢制造炊具盖、适合采用铁素体不锈钢的产品、冲压或硬钎焊成形的电磁炉用炊具以及烤炉框架等。现在已扩展到制造煎锅等，用户对这种产品非常满意。”



“在这些应用中，常常可以证明，我们和用户对铁素体不锈钢的耐蚀性、深冲性和抛光性都非常满意。铁素体不锈钢有其自身的极限，如果某些对材料严格的加工性能和使用效能超过了这个极限，铁素体不锈钢则难以满足这些要求。另外，在一些国家甚至还存在排斥铁素体不锈钢的偏见！但是，我们仍然发现在许多情况下，铁素体不锈钢是一种正确的选择。而且实际上，铁素体不锈钢的磁性是制造电磁炉用不锈钢炊具的基本条件。当然，铁素体不锈钢的价格也是稳定和可靠的。”

“关于铁素体不锈钢我们有很好的使用经验，我们还打算将其扩展到其他应用领域去。”



在制糖行业的应用中，
铁素体不锈钢已被证
实全面优于碳钢。

GAETANO RONCHI

宜家金属采购部，总经理

“本公司在壶、锅、餐具（包括餐刀）及浴室和厨房用具中使用不锈钢。我们的年用量为 60000 吨，并且正以每年约 15% 的速度增长。其中有很大一部分是铁素体不锈钢。”



“在 2003 年中期，宜家就已决定将铁素体不锈钢作为多用途不锈钢，主要是因为这种材料的价格稳定，且具有可预见性。试验显示，有焊缝的制品需采用铬含量比标准 430 更高的钢种，以优化耐腐蚀性能，且需进一步对焊接件进行处理以满足性能要求。然而，这一决定给我们的不锈钢制品开发带来了突破。销售量增长以及新产品设计中不锈钢的使用已经对我们原来使用奥氏体不锈钢的状况造成严重威胁。”

“宜家的不锈钢制品中，有很大一部分都是由一家亚洲的定点生产厂（OEM）制造的。对集团公司驻亚洲采购处和在亚洲的 OEM 分包商的培训，也促进了我们向铁素体不锈钢的成功转换。我们的目标是逐步完全淘汰奥氏体不锈钢，用改良的铁素体不锈钢进行替代。本公司目前正在试验新的、深冲性能或耐蚀性能增强的铁素体不锈钢。”

MICHAEL LEUNG

宇恒国际有限公司，助理经理，澳门

“新会日新不锈钢制品公司是本公司设在中国广东省的子公司，主要生产不锈钢炊具和厨具。写稿之时，该公司的不锈钢月用量约为 800 吨，其中 66%-70% 是铁素体不锈钢。1999 年当我们刚刚开办这家工厂时，仅在炊具底部采用 400 系不锈钢。到 2002 年，我们才开始在炊具主体部分采用 400 系不锈钢。”



“我们采用铁素体不锈钢不仅仅是由于其价格较低，还因为铁素体不锈钢具有磁性和良好的热传导率。同时，它们也较易回收利用，有利于节省地球资源。从 304 转向铁素体不锈钢使该生产厂变得更具竞争力，同时也使用户能以更低的价格获得可靠的产品。我们必须纠正因为铁素体不锈钢有磁性而质量差、耐蚀性不好的偏见。”

“对那些主要采用 304 的厂家来说，转而采用铁素体不锈钢意味着必须对制造工艺和冲模进行调整。这需要一定投资。但从我们的经验来看，采用铁素体不锈钢能够降低整个生产成本。”

“总之，我们对铁素体不锈钢非常满意。为满足多种多样的需求，已开发出了许多铁素体不锈钢品种。我们希望，在各个钢材贸易中心都能采购到铁素体不锈钢，并希望它在各个领域的应用变得更加广泛。”

ATUSHI OKAMOTO

TAKARA 标准株式会社，大阪厂一车间经理，日本

“TAKARA 标准株式会社是日本一家主要的厨房和浴室用具生产商。我们采用不锈钢制造水槽、整体厨房的面板、整体浴室的浴缸和悬挂构件等。本公司使用铁素体不锈钢的历史已有约 40 年，原因很简单，就是这些钢材的性能完全能够满足使用要求。”



“我们在铁素体不锈钢的使用方面非常成功，这是因为我们在产品设计中考虑到了这些钢种特殊的力学性能，以及拥有正确的挤压成形和冲压技术。我们在铁素体不锈钢方面没有遇到过较大的问题。每当一种新的复杂形状被提出时，我们都会进行试验以决定最佳的工艺参数。”

“总之，我们对铁素体不锈钢非常满意。我希望看到这本手册的发行能够帮助各公司针对不同的应用领域选择合适的铁素体不锈钢。”

其他使用证明放在每章之前的左手页...



铁素体不锈钢焊管由于其技术和经济上的优势，在管材市场有着充满活力的前景。

CLOVIS TRAMONTINA

巴西圣保罗 TRAMONTINA 公司董事长

“Tramontina 公司作为一家主要生产家用器具的巴西生产商，出口业务频繁，每月不锈钢用量约为 850 吨，其中大约 30% 为铁素体不锈钢。这些铁素体不锈钢主要用于经济型餐盘、餐具、水槽及平底锅底。”

“我们从 1974 年开始使用铁素体不锈钢，当时我们在位于 Farroupilha 的工厂里生产平底锅和套餐餐盘。我们使用铁素体不锈钢的主要原因是其作为原材料成本较低，加之铁素体不锈钢本身特性能够很好地满足这些应用需求。”



“在深冲加工时，例如水槽，铁素体不锈钢不像奥氏体不锈钢一样易于成形，而是需要一个中间轧程。即使如此，我仍认为铁素体不锈钢是一个好的选择，因为其较高的性价比。由于这种材料易于清洁和维护且很卫生。它有着奥氏体不锈钢的所有优点，并且有不同的成品表面。”

“总而言之，我们乐于使用铁素体不锈钢，而且也用了很长时间。实际上，我们一直在寻找其新的用途，并且以其成本优势而获利。”

“神奇的铁素体不锈钢”

在目前原材料价格飞涨的情况下，在诸多应用领域选用廉价的铁素体不锈钢作为替代材料是一种切实可行的解决方案。

近几年，铝、铜、锌和镍等原材料价格一路攀升。高的镍价及其频繁波动使不锈钢生产企业和用户大受影响。镍是常规奥氏体系列不锈钢（300 系）的一个重要组成元素。



由于不锈钢生产企业无法控制这种局面，其必然结果就是调高含镍钢的价格。由此迫使一些原来采用奥氏体不锈钢的用户不得不寻求价格更低的材料，但需提供进一步的加工和使用特性。

这也许会吓跑不锈钢的潜在用户，认为，要使不锈钢具有上述特性，价格会高得令人无法承受。

成本低，价格稳定

令人兴奋的是铁素体不锈钢（400 系）价格不仅低且稳定，并且具有许多独特的特点和优势，业已证明，在许多原先认为只能采用奥氏体不锈钢的应用领域，铁素体不锈钢是一种极为优异的替代材料。



煎锅，430 不锈钢。



天津，440M 不锈钢，南桥。

铁素体不锈钢不含镍，主要元素为铬（ $\geq 10.5\%$ ）和铁。铬是使不锈钢特别耐蚀的元素，其价格在历史上相对稳定。为强化一些特殊的性能，某些铁素体不锈钢还含其他合金元素，如钼。

铁素体不锈钢拥有昂贵奥氏体不锈钢的大多数力学性能和耐蚀性能，且在一些性能上优于奥氏体。因此，为什么必须为镍而付费呢？

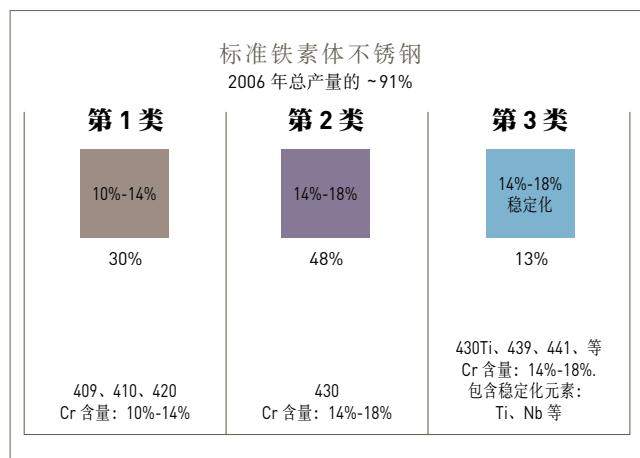
铜、铝或奥氏体不锈钢的用户在寻找另一种解决途径时会十分留意。铁素体不锈钢不仅性能独特，而且由于具有供货渠道和技术方面的优势，因而经常是一个理想选择。



“如果不必要为什么要为镍付费？”

五种铁素体系列不锈钢

铁素体不锈钢分为五大类，其中三类为标准牌号，两类为特殊牌号。迄今为止，用量最大和应用范围最广的主要集中于标准钢号。因此，标准铁素体不锈钢一般完全能够满足和适用大多数应用领域的要求。



■ 第1类（409或410L型）。这类钢在所有不锈钢中铬含量最低，因而最便宜，最适合在没有腐蚀或轻微腐蚀及允许有局部轻微生锈的环境下使用。409型不锈钢起初专门为汽车排气系统消音器（腐蚀不严重的外部）所设计。410L型不锈钢常用于容器、公共汽车和长途大轿车，最近用作液晶显示器的外框。

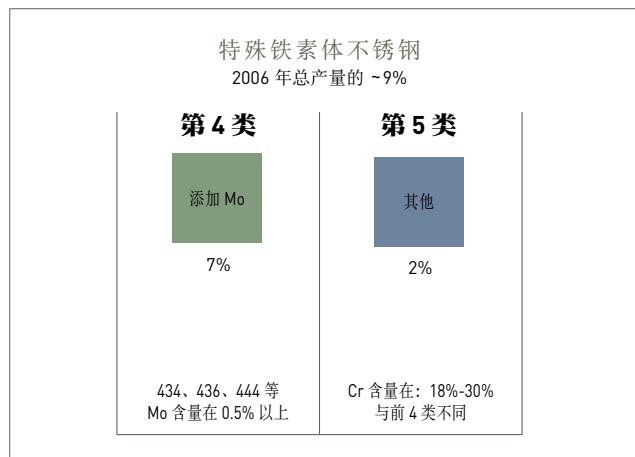


集装箱，409L和410L不锈钢。

■ 第2类（430型）。它是一类使用最广的铁素体不锈钢，含有较高的铬，具有较好的耐蚀性，其多数性能与304类似。在某些应用领域，可替代304型不锈钢，一般在室内使用具有足够的耐蚀性。典型的用途包括洗衣机滚筒、室内面板等。典型的430经常作为304替代材料，用于厨房设施、洗碗机、壶和锅等。其焊接特性可参见37页。

■ 第3类（包括430Ti、439、441等）。与第2类相比，这类型牌号具有良好的焊接性和成形性。在多数情况下，其性能甚至优于304。典型用途包括水槽、热交换管（制糖业、能源等）、汽车排气系统（比409寿命长）和洗衣机的焊接部位。第3类牌号甚至可替代304用于性能要求更高的场合。

“标准铁素体不锈钢总是令人满意的，完全适用于大多数所要求的应用领域。”



■ 第4类（包括434、436、444型等）。这类牌号通过添加钼增加耐蚀性，其典型的应用领域是热水箱、太阳能热水器、汽车排气系统、电加热壶和微波炉部件、汽车装饰条和户外面板等。444钢的耐蚀性能与316相当。

■ 第5类（包括446、445/447型等）。这类牌号通过添加更多的铬和含有钼来提高耐蚀性和抗氧化性。这类牌号的耐蚀性和抗氧化性优于316。典型用途沿海和其它高耐蚀环境。JIS 447的耐蚀性与金属钛相当。

令人难忘的案例

在铁素体不锈钢成功的应用案例中，两类典型和特殊的应用领域显得尤为突出。多年来，铁素体系列不锈钢一直广泛应用于两大特殊应用领域：汽车排气系统和洗衣机滚筒。



汽车排气系统长期在高温和腐蚀环境下使用，选用铁素体不锈钢可大幅度延长汽车排气系统部件的寿命周期。

洗衣机滚筒在有洗洁剂和长期潮湿的环境下使用。在这种环境下，绝对不允许局部腐蚀现象存在。

车主和房主非常容易证实他们对洗衣机滚筒和汽车排气系统的使用寿命的满意度。对于这些产品的制造者来说，“加工友好”和大的经济方面的优势是使铁素体不锈钢成为首选的额外因素。

目前铁素体不锈钢其它用途涵盖从厨具和餐饮设施到户内家具和装饰项目、汽车装饰条、过热器、加热管、燃烧器、空调管、烧烤架等，许多新的应用领域将不断涌现。



太阳能热水器，中国台湾。

“…在许多条件下，与昂贵的材料相比，铁素体不锈钢正成为一种更好的选择材料。”

性能优异的现代铁素体不锈钢

高质量铁素体不锈钢已经出现多年，通过大量的深入研究，目前已经形成了系列性能优异的商业牌号。

这类铁素体不锈钢对市场和经验丰富的生产企业来说并不陌生。但奇怪的是，大家对这类牌号似乎漠不关心，这是历史原因造成的。430不锈钢曾经是早期唯一认可的铁素体不锈钢种，但早期的用户对这个钢种的使用，特别是在焊接或腐蚀严重的条件下，没有足够的技术支持。经过一些事件，在最近几十年形成了铁素体不锈钢性能差而奥氏体不锈钢性能优良的错误认识。

铁素体不锈钢很早就得到了改进。现代技术的全面支持和钢种的增加和多样化来保证在性能上满足用户的需求。铁素体不锈钢的性能可与奥氏体不锈钢相比，因此，把铁素体不锈钢认为是性能差的或极其优异都是错误的。他们之间仅仅是性能和用途不同。



天桥吸音板，日本。

实际上在许多条件下，与昂贵的材料相比，铁素体不锈钢正成为一种更好的选择材料。这类钢可能更适用特殊要求的环境条件，而且性能不高也不低，刚好满足要求。



牛奶罐，430 不锈钢外覆，南非。

优良的成形性能

铁素体不锈钢的延展性和碳钢一样，大多数成型操作都没问题，但没有奥氏体不锈钢的延展性好。奥氏体不锈钢具有优越的延展性，但在许多情况下是“性能过剩”。

铁素体不锈钢和碳钢表现出同样的成形性。因此，你只要想到现在可以将碳钢加工成各种复杂的形状（如汽车车身），就能意识到铁素体不锈钢也具有明显的可能性。只要工具选择合适和钢种选择正确，就可以将铁素体不锈钢加工成各种形状。

独特的磁性

广泛存在的一个对铁素体不锈钢的误解是，因为铁素体不锈钢有磁性，所以这类钢不是“真正”的不锈钢，而会像碳钢一样生锈。这是没有道理的。一些不锈钢有磁性而一些没有磁性的真正原因是它们之间的原子结构不同。耐蚀性与原子结构无关而是与一种化学成分有关，即有特定的铬含量。而磁性与抗蚀性没有关系。

“广泛存在的一个对铁素体不锈钢的误解是，因为铁素体不锈钢有磁性，所以这类钢不是‘真正’的不锈钢，而会像碳钢一样生锈。这是没有道理的。”

实际上，铁素体不锈钢的磁性能是这种材料的重要性能之一，有许多现存或潜在的用途和优点。电冰箱及刀具和其他金属工具的闭合都利用了这一性能。实际应用中，“感应发热”炊具中的锅的基本性能就是磁性，因为其发热过程就是炊具本身的磁能转化成热能的过程。



冰箱，430 不锈钢外覆。

独特的技术优势

铁素体不锈钢是一种特别耐用和低维护的材料，拥有远比碳钢低的寿命周期成本优势。同时也能够被 100% 的循环利用：超过 60% 的新产不锈钢是采用熔炼不锈钢废钢的方法生产的。

不锈钢的主要性能可以总结成以下几点：

- 耐蚀
- 美观
- 耐热
- 低的寿命周期成本
- 全部循环利用
- 生物中性（符合欧洲 RoHS 的要求）
- 易加工

与碳钢相比，铁素体不锈钢具有所有不锈钢的优点：耐蚀性、低寿命周期成本和长寿命期等。此外，与同类钢种奥氏体不锈钢相比，其优势并不仅停留在其成本低这一个方面，实际上铁素体不锈钢在许多性能上都优于奥氏体不锈钢。

铁素体不锈钢特殊的“王牌”

- 铁素体不锈钢有**磁性**。
- 铁素体不锈钢的**热膨胀率低**
(加热时膨胀程度小于奥氏体不锈钢)。
- 铁素体不锈钢的**高温抗氧化性好**
(表面氧化剥落倾向小于奥氏体不锈钢)。
- 铁素体不锈钢**热传导率高**
(铁素体不锈钢比奥氏体不锈钢热传导更加均匀)。
- 含有稳定化元素铌的铁素体不锈钢有**良好的蠕变抗力**
(在长时间应力作用下的应变比奥氏体不锈钢小)。
- 铁素体不锈钢比奥氏体不锈钢更**易于切削和加工** (奥氏体不锈钢的切削加工需要专用工具和大功率的机械, 造成工具损耗也更大)。
- 在冷加工变形时, 铁素体不锈钢的**形变回复倾向比奥氏体不锈钢小**。
- 铁素体不锈钢的**屈服强度更高**
(与碳钢相当), 高于 304 不锈钢。
- 铁素体不锈钢, 不同于奥氏体不锈钢, **无应力腐蚀断裂倾向**。

完美的性能匹配

在目前的市场情况下，现有及潜在的用户在针对特定的应用需求选择钢种时，首先是要避免材料“性能过剩”。

在过去的发展中，因奥氏体不锈钢 304 具有广泛的适用性，已成为应用范围最广、最易获得的不锈钢钢种。只要合理选材，现代铁素体不锈钢常常可以有效地替代 304 不锈钢。

对制造和使用质量的近似及实际检验常常显示，具有成本优势的铁素体不锈钢能够充分完美地满足加工者及最终用户对性能的要求。



“只要合理选材，现代铁素体不锈钢常常可以有效地替代 304 不锈钢。”



整体厨房，430 不锈钢，南非。

有时，仅在使用方面做一个合理的让步（如建议最终用户定期清洗产品表面）就能保证这类低成本铁素体不锈钢产品在其使用期内完全不被腐蚀。



覆层面板，着色 430 不锈钢，意大利。

“铁素体不锈钢时代的到来”

现代铁素体不锈钢具有价格优势，同时通过添加合金元素可以得到各种优越的性能。就其优越性来看，现代铁素体不锈钢的机遇似乎是无限的。

本册子采用了相对简单的术语来描述铁素体不锈钢的特性，使它们能够被更容易的理解。其目的是提高人们对这些低价钢种优点的了解，从而推广这种不锈钢的应用。本手册是不锈钢工业界主动帮助用户了解如何针对其应用正确选材的一个部分。

下面将叙述现代铁素体不锈钢的性能、各种不同合金元素的作用及这类钢种现有及潜在的应用领域。



在普通环境中，
对于城市设施，
选用铁素体不锈钢不但美观耐用，
而且经济实惠。



DOMINIQUE MARET

法国 FAURECIA 汽车排气系统公司市场部主管

“作为一家国际性汽车配件供应商，Faurecia 公司主要用不锈钢制造汽车排气系统。为此每年需 20 万吨不锈钢，其中 90% 为铁素体不锈钢。实际上我们从 20 世纪 70 年代中期开始使用铁素体不锈钢，当时我们开始生产符合美国排放标准的催化式排气净化器。铁素体不锈钢比奥氏体不锈钢的热膨胀系数小，这是这种催化式排气净化器经久耐用的重要因素。”



“我们之所以能够成功应用铁素体不锈钢，是因为我们深入了解了该钢种在不同排放环境中的特性，做到物尽其用，在不同的场合使用适合的钢种。当然，无论是产品设计还是制作工艺都必须考虑到其成形性的局限性以及避免产生晶间腐蚀。我们还需在铁素体不锈钢 900°C 以上高温性能和耐蚀性等方面取得更进一步的进展。我们坚信这种进步会使其更加接近奥氏体不锈钢的性能，但成本仍旧低而稳定。可以说，我们对铁素体不锈钢已经非常满意了。”

耐蚀性

不锈钢之“不锈”是由于Cr含量赋予了其特殊的耐蚀性。

从某种程度上来讲，所有钢种都有发生腐蚀的倾向，然而，不锈钢由于其含铬比碳钢更耐蚀。铬（不是镍，但人们常误以为耐蚀的原因是镍）是不锈钢获得耐蚀性的主要成分。

耐局部腐蚀性

不锈钢在使用过程中通常不需要维护，但是，在某些情形下，为延长使用寿命，少量维护（例如，去掉沉积物）也是必要的。

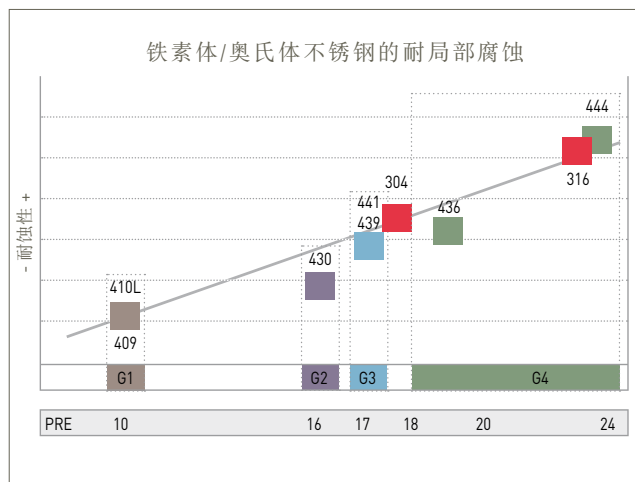
不锈钢的耐蚀性主要取决于化学成分而与奥氏体或铁素体相结构无关。从耐蚀性角度来讲，铁素体相与奥氏体相甚至可以被看作是不锈钢家族中两个可互换的成员。

“…铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢可以被看作是不锈钢家族中两个可互换的成员。”

五类铁素体系不锈钢与奥氏体 304 不锈钢耐蚀性相比，非常鲜明地体现了铬的作用，同时也进一步说明含镍（奥氏体）不锈钢与大多数铁素体不锈钢的耐蚀性相当。



烘干机，439 不锈钢，欧洲。



上图给出的结果表明，只有含钼的铁素体不锈钢比 304 不锈钢具有更优异的耐局部腐蚀（点蚀）性能。然而，稳定化的铁素体不锈钢，在图中尽管位于 304 不锈钢之下，但是仍具有很好的耐点蚀性。



散热器及装饰条，436 不锈钢。



建筑覆层，部分 444 不锈钢，巴西。

■ **第 1 类** 铁素体不锈钢最适合于一些温和的环境条件，例如室内（使用过程中不锈钢或者不与水接触或被定期擦干）或室外，不锈钢表面的一些轻微腐蚀是可以接受的，在这样的服役环境中铁素体不锈钢的寿命比碳钢更长。

■ **第 2 类** 铁素体不锈钢在温和的环境条件下更耐蚀，甚至包括与水间歇接触的一些环境条件。

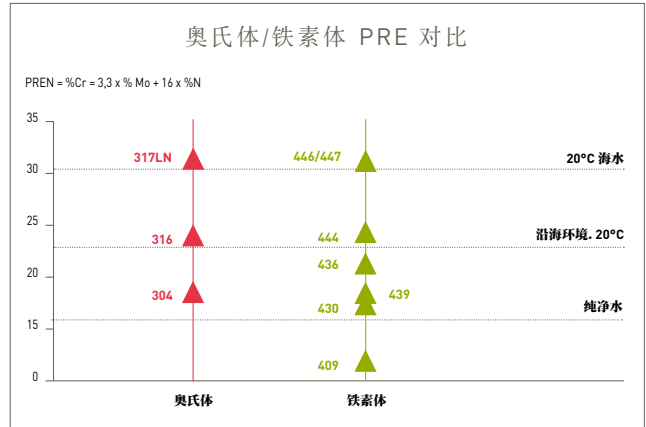
■ **第 3 类** 铁素体不锈钢适用环境与第二类不锈钢类似，但更容易进行焊接加工。

■ **第 4 类** 铁素体不锈钢比 304 不锈钢耐蚀性优异，其使用范围更为广泛。

■ **第 5 类** 铁素体不锈钢，例如含有非常高的铬，大约 29% 左右，以及 4% 钼，在海水中其耐蚀性与钛金属相当。

PRE 指数

PRE 或点蚀当量指数是衡量不锈钢在含氯离子环境中耐点蚀性的指标，PRE 值越大，耐点蚀性越好。



由 PRE 对照表可见，每一种奥氏体不锈钢都有与之相对应的耐蚀性相当的铁素体不锈钢。

在通用的 PRE 简化公式中， $PRE = \%Cr + 3.3\%Mo$ ，由公式可知钼耐点蚀能力是铬的 3.3 倍。然而，铬通常是保证耐蚀性的基本成分，钼在不锈钢中不可取代铬，但可以提高不锈钢的耐蚀性能。

由于在大多数的应用中镍对抗点蚀不起任何作用，因此在上述公式中没有考虑镍含量。

防腐蚀

不锈钢钝化膜（见 p59）是依靠氧来维持的。但是如果不锈钢表面的沉积物累计到某一临界量时，就可能夺去钢中的氧引发腐蚀，腐蚀的发展最终导致了钝化膜破裂。



徽罐 444 锈 巴西 肚

“镍对于抗点蚀不起作用”



烧烤架, 430 不锈钢, 意大利。

造成腐蚀的因素

- 内在夹杂
- 表面附着物
- 表面缺陷
- 组织缺陷
- 盐浓度（含盐地区、海水等）
- 高温
- 高度酸性环境（强酸）
- 强还原性环境

防止腐蚀的因素

- 清洁的表面
- 光滑的表面
- 钝化的表面
- 时效后的表面
- 清洗效果（例如：雨）
- 较高的铬含量
- 氧化条件（ O_2 ——不能太强）
- 添加钼

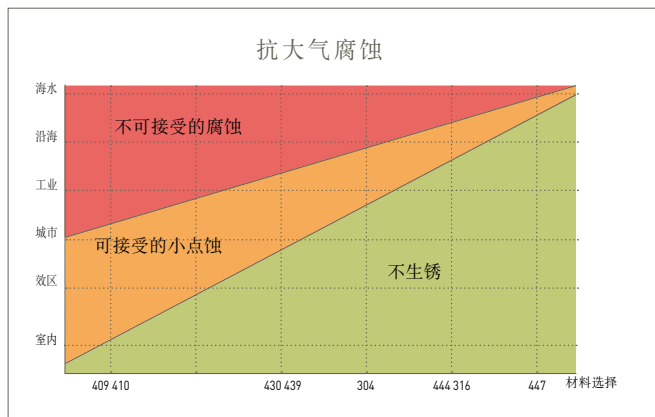


当溶液 pH 达到某一临界低值（低 pH = 高酸度）时会发生腐蚀。pH 值是描述溶液酸碱度的指标，测量范围为 0~14。



大气腐蚀

大气腐蚀是由潮湿空气与大气中污染物形成的薄液膜覆盖在钢铁表面引起的。在工业环境中，氯离子和硫化物是导致大气腐蚀的主要污染物，典型腐蚀环境如含有氯离子的潮湿的海洋大气。



对于抗大气腐蚀，不同的环境需要不同的铁素体（400 系）或奥氏体（300 系）不锈钢，在工厂、沿海、海水特定环境下应用，可能发生一些可接受的局部腐蚀（点蚀）。

“铁素体不锈钢可用于不同腐蚀程度的大气环境下。”

钢种的选择

铁素体不锈钢被广泛应用于各种腐蚀严重的大气环境中，在选择适用钢种时应考虑到有关服役环境的所有参数。

譬如所使用的材料表面局部生锈（发生了点蚀），但在特定的环境或应用中并不影响其使用，那么低成本的材料可能是最佳选择。

简则

- 在侵蚀环境中，应选择高铬和（或）高钼钢。
- 避免粗糙表面—选择 Ra 值较低的精细抛光表面。
- 优化设计，便于清洗（如上表面最小倾斜 15°）。
- 设计时，避免“类似于缝隙”的几何形状。
- 保持表面清洁，定期清洗以防表面玷污和积攒灰尘。



抗氧化性

高温循环氧化与前面提到的两种腐蚀不同，它是发生在有或没有热循环的高温（>500℃）氧化环境中的“干腐蚀”。

当不锈钢被加热时，其中的铬生成了保护性的氧化铬“膜”，从而延迟了进一步氧化。膜和基体热膨胀行为不同，这可能会影响膜的稳定性，尤其在周期性的热循环条件下。膜的热膨胀系数很低而金属基体的热膨胀系数很高，那么当金属冷却和收缩时，大量的氧化膜将会发生剥落或开裂。

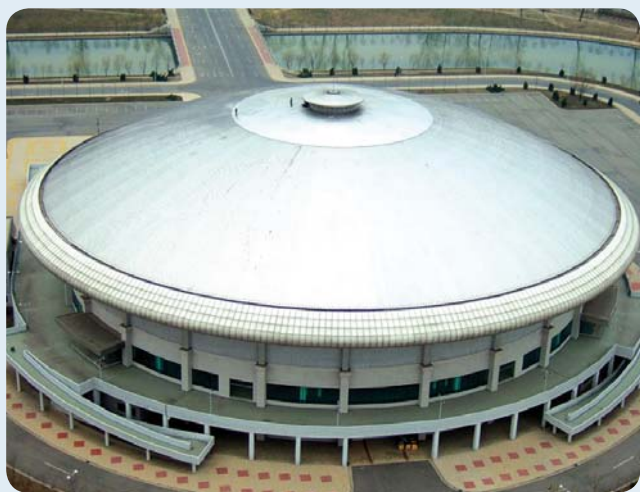
铁素体不锈钢热膨胀系数小，比奥氏体不锈钢更适用于高温循环氧化环境。由于没有膜的剥落或开裂，也就没有更进一步的氧化，因而这一特点非常适用于做加热系统、燃烧器或排气系统等。

广阔的潜在应用前景

虽然铁素体不锈钢这些有趣的耐蚀性远不是其引人注目的唯一特点，然而在目前材料成本日益飞涨趋势下，这一特性已足以赢得人们青睐。

详细验证铁素体不锈钢的性能往往需要支付很多费用。一些现有的奥氏体不锈钢用户在研究铁素体不锈钢说明书时，可能会发现事实上铁素体不锈钢非常适合他们的需要。

不锈钢的潜在用户可能会对铁素体不锈钢的优越性感到非常惊奇—并发现不锈钢最终将是可行的选择！



体育馆屋顶，445 不锈钢，韩国。

…铁素体不锈钢比奥氏体不锈钢更适用于高温循环氧化环境。



燃烧器，430 不锈钢。



排气歧管，441 不锈钢。

寿命周期成本计算：无价指南

在任何潜在应用领域中进行寿命周期成本研究的价值都不可能得到高度重视，然而这样的研究结果通常表明不锈钢一视为成本方案—事实上由于寿命期长，是较低成本的选择。

不锈钢的耐蚀意味着寿命期较长、维护少、再销售价值高以及表面美观等。表面无需涂刷和电镀。似乎这些特性并不足以引人注目，事实上铁素体不锈钢投资成本低可能是选材时最受人们青睐的特性。

虽然铁素体不锈钢现在还处于发展阶段，但已得到广泛的关注和应用。尽管已有无数成功应用的实例，但仍然需要发掘铁素体不锈钢优越性的潜在应用领域。

…铁素体不锈钢投资成本低可能是选材时最受人们青睐的特性…



电磁感应厨具需要铁素体不锈钢具有磁性。

SEUNG TAE BAEK

韩国 LG 电子公司洗衣机部门主管

“在 LG 公司，铁素体不锈钢主要用于制造洗衣机的滚筒，而且在我们开发全自动洗衣机初期时就这样做了。2006 年，我们使用了大约 15500 吨铁素体不锈钢，而仅用了 2500 吨奥氏体不锈钢，所以铁素体不锈钢占我们不锈钢消耗总量的 86%。”



“对于我们，铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢相比所具有的优势就是良好的力学性能和低廉的成本。在工艺技术上，随着成形技术的发展以及高等级铁素体不锈钢的开发，意味着我们可以更加合理地选用铁素体不锈钢。在应力作用下的裂纹和皱折会导致表面缺陷的发生，我们需要改进深冲工艺。不过，对于铁素体不锈钢的价格和质量我们都非常满意。”

力学及物理性能

铁素体不锈钢易于制造且应用广泛。

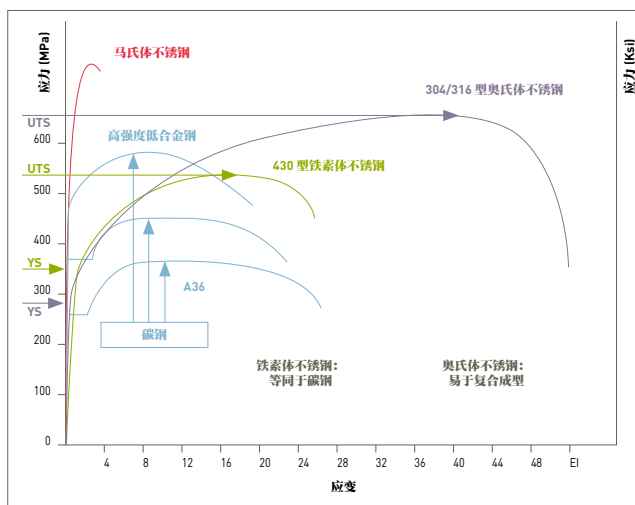
铁素体不锈钢具有良好的力学性能，与其他系列的不锈钢相比，比较适中。它的屈服强度高于奥氏体不锈钢，而延伸率和成形性等同于碳钢。铁素体不锈钢的两种物理性能优于奥氏体不锈钢：热胀性和热导性。

力学性能

通俗的讲，金属合金的力学性能可以描述为材料压缩、延伸、弯曲、擦划、压痕和断裂的能力。力学性能常用以下标准评价：

- **强度**：材料抵抗变形的程度，通常考虑两个临界值：
 - 屈服强度，或材料在永久塑性变形发生之前所承受的应力。
 - 抗拉强度，或材料在断裂/失效之前承受的应力。
- **硬度**：材料抵抗压痕的能力。
- **韧性**：材料在断裂前吸收变形能的能力。
- **延展性（或塑性）**：塑性变形的能力。

拉伸试验可以测量其中一些性能。利用应力-应变曲线可以测得屈服强度（YS），极限抗拉强度（UTS）和断裂后总的伸长率（E）。应力-应变曲线描绘了金属性能与载荷的对应关系，在此曲线上可以界定上述性能。



极限抗拉强度单位为 MPa (1Mpa = 1N/mm² = 145PSI = 0.1kg/mm²)，代表断裂时的最大抗力。屈服强度指塑性变形阶段的开始，此时应力卸载后，延伸不再消失。

应力-应变曲线显示，尽管 430 不锈钢有一定的局限性，但已有相当好的表现。



车体框架，410 不锈钢，南非。



电梯，SUS430 不锈钢，日本。

“…在不锈钢家族中铁素体不锈钢和奥氏体不锈钢是两个可以实现互换的品种。”

铁素体不锈钢的应力-应变曲线与普通碳钢相当相似，具有适当高的屈服强度（一般高于奥氏体不锈钢），适当高的极限抗拉强度，良好的延伸性以及塑性。

力学性能（冷轧）

ASTM A 240				JIS G 4305			EN 10088-2					
	R _m min	R _{p0.2} min	A ₅ min		R _m min	R _{p0.2} min	A ₅ min		R _m	R _{p0.2} min	A ₈₀ min	
409	380	170	20	--	--	--	--	X2CrTi12	1.4512	380-560	220	25
410S	415	205	22	SUS 410	440	205	20	X2CrNi12	1.4003	450-650	320	20
430	450	205	22	SUS 430	420	205	22	X6Cr17	1.4016	450-600	280	18
434	450	240	22	SUS 434	450	205	22	X6CrMo17-1	1.4113	450-630	280	18
436	450	240	22	SUS 436	410	245	20	X6CrMoNb17-1	1.4526	480-560	300	25
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4520	380-530	200	24
439	415	205	22	--	--	--	--	X2CrTi17	1.4510	420-600	240	23
441	415	205	22	--	--	--	--	X2CrMoNb18	1.4509	430-630	250	18
S44400 [444]	415	275	20	SUS 444	410	245	20	X2CrMoTi18-2	1.4521	420-640	320	20
304	515	205	40	SUS 304	520	205	40	X5CrNi-80	1.4301	540-750	230	45

上表比较了铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢 304 美标，日标和欧标所要求的性能。R_m 为极限抗拉强度，R_{p0.2} 为屈服强度，A₅/A₈₀ 为断后延伸率。



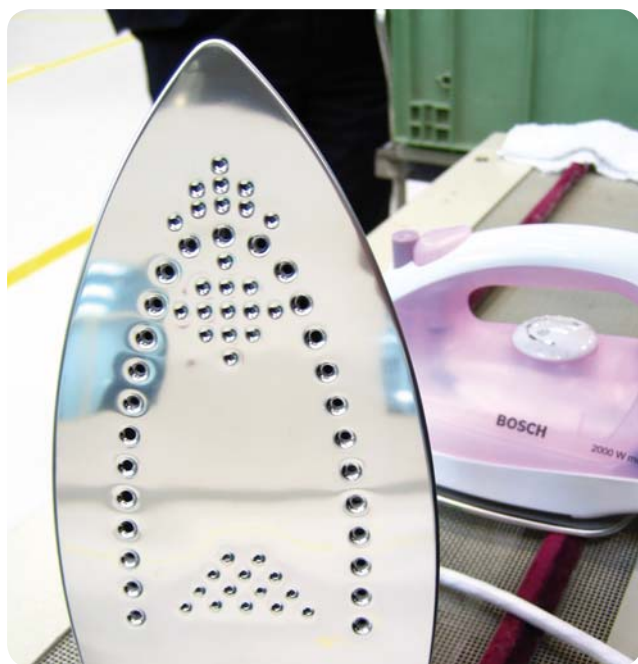
锅炉钢管，444 不锈钢，韩国。

物理性能

金属合金的物理性能包括：材料导热，导电的能力以及胀缩性等。

铁素体不锈钢具有磁性。它们还具有奥氏体不锈钢无可比拟的其他优点。例如，它们的热导性相当高，这就意味着它们传热效率高，适用于电烙铁或热交换器（管或板）。

铁素体不锈钢的热膨胀系数与碳钢相似，低于奥氏体不锈钢。因此，铁素体不锈钢加热时不易变形。



电熨斗底板，抛光 430 不锈钢。

物理性能

不锈钢类型	密度 g/cm ³	电阻 Ω mm ² /m	比热 0-100°C J/kg • °C	热导率 100°C W/m • °C	热膨胀系数		杨氏模量 x10 ⁹ N/mm ²
					0-200°C 10 ⁻⁶ /°C	0-600°C 10 ⁻⁶ /°C	
409/410 10%-14% Cr	7.7	0.58	460	28	11	12	220
430 14%-17% Cr	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Stabilised 430Ti, 439, 441	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Mo > 0,5% 434, 436, 444	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
Others 17%-30% Cr	7.7	0.62	460	25	10.0	11.0	220
304	7.9	0.72	500	15	16	18	200
Carbon steel	7.7	0.22	460	50	12	14	215

铁素体不锈钢的弹性模量（20°C 时）优于 304 奥氏体不锈钢。国际单位：g/cm³ = kg/dm³ - J/kg • °C = J/kg • °K - W/m • C = W/m • K - 10⁻⁶/°C = 10⁻⁶/°K - N/mm² = MPa。



低铬铁素体不锈钢同碳钢强度相当，并且具有耐蚀性。因此，由铁素体不锈钢制造铁路货车使用周期成本低（LCC）。



铁素体不锈钢美观、卫生，
是制造燃气灶的理想材料。

张森

中国青岛海尔集团不锈钢采购部经理

“作为世界领先的白色家电制造商之一，海尔集团在许多产品中使用了铁素体不锈钢，其中包括洗衣机、洗碗机、燃气灶、排油烟机和微波炉等。我们在 2000 年之前就开始使用铁素体不锈钢，目前每年使用 14500 公吨铁素体不锈钢，占不锈钢用量的 85%。铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢相比价格便宜，是上述产品的理想用材。”



用户对铁素体不锈钢的看法

“与奥氏体不锈钢 304 相比，标准的铁素体不锈钢既不能满足许多部件深冲加工的要求，也不能在含有氯离子的气氛中提供良好的耐蚀效果，同时焊接性能也难以相比。但是，它们仍是家用电器非常好的原材料，在生产过程中，我们使用的铁素体不锈钢所具备的冲压和拉伸性能完全满足我们的要求。因此我们乐于使用铁素体不锈钢。”

“随着镍价的飞涨，我们对不锈钢的采购成本也急剧增加。用铁素体不锈钢替代奥氏体不锈钢，不但减少了采购成本，同时也节约了资源，保护了环境。”

“我甚至可以说，虽然奥氏体不锈钢占据着当前市场的主导地位，但是不锈钢消费的未来是属于铁素体不锈钢的。”

铁素体不锈钢的成形性

铁素体不锈钢具有良好的冲压性能，因此能符合复杂的三维设计需要。

铁素体不锈钢在复杂变形后，并不影响其优良的耐蚀性，耐热性和装饰性，因此在工业或消费品行业得到广泛的应用。

“…一些铁素体不锈钢具有优异的冲压性能。”

冲压如何进行

在冲压过程中，通过冲床将钢板压入模腔内制得零件。金属向内拉伸，在冲模和压边装置之间滑动，形成零件的筒壁或筒裙。



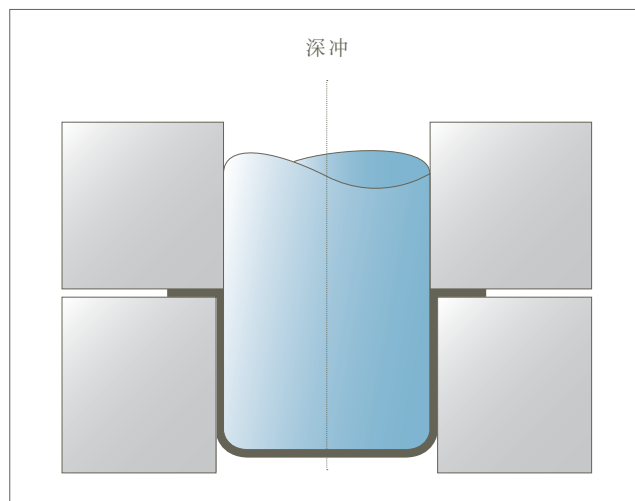
冲压的罐炉顶部，441 不锈钢，南非。

冷变形可以改变钢带或钢板的形状。拉伸和深冲加工的共同作用使得成形过程比较复杂。

虽然奥氏体不锈钢的总体拉伸性能要好于铁素体不锈钢，但一些铁素体不锈钢（特别是钛稳定，17% 铁素体不锈钢）也具有优异的拉伸性能。

铁素体不锈钢的冲压

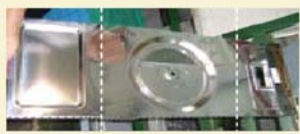
当将平板或片成型为中空物体时，冲压是最常用的一种工艺。铁素体不锈钢良好的冲压性以及较大的价格优势，使其成为首选。



“冲压”和“拉伸”依靠金属是否滑动加以区分。在成形中，钢板的边部被压边装置加以限制。



水槽，430 不锈钢，日本。



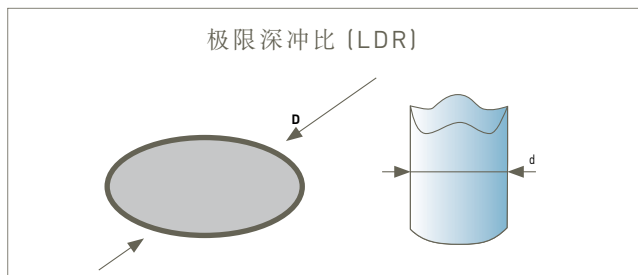
微波炉，430 不锈钢，BA 表面，韩国。

成功的冲压方法

- 无断裂
- 表面良好
- 材料消耗最小
- 高成品率
- 工具磨损低

极限深冲比因子

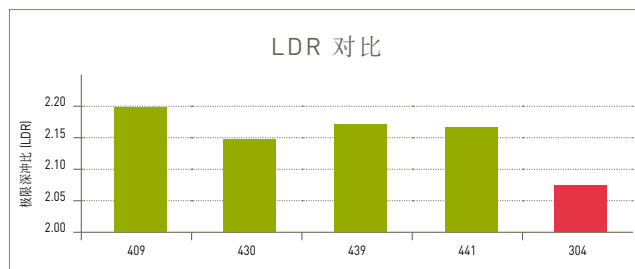
极限深冲比（LDR）是一项重要的深冲参数。



极限深冲比（LDR）是指一次能冲压成圆筒的最大圆片直径与圆筒直径之比， $LDR = D/d$ 。

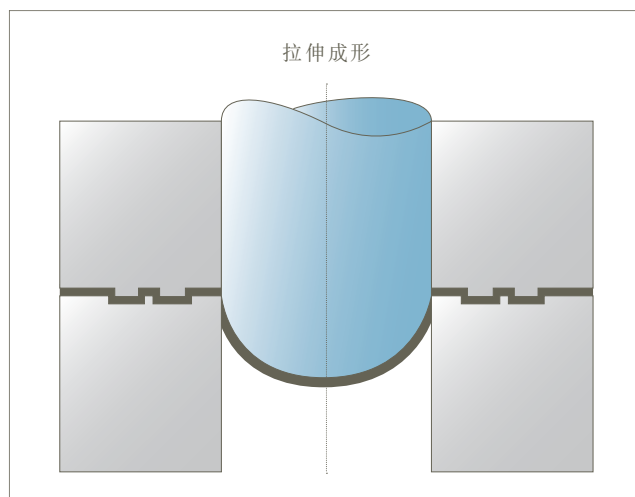
“铁素体不锈钢的 LDR 值高于奥氏体不锈钢，因此特别适合于冲压成形。”

“铁素体不锈钢的 LDR 值高于奥氏体不锈钢，因此特别适合于冲压成形。”



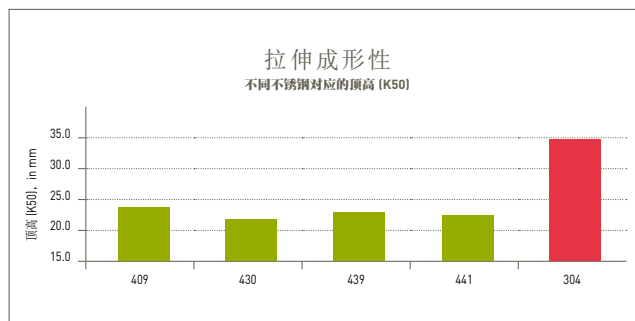
铁素体不锈钢的拉伸成形性

铁素体不锈钢的拉伸成形性低于奥氏体不锈钢。



拉伸成形中，拉伸区变窄。

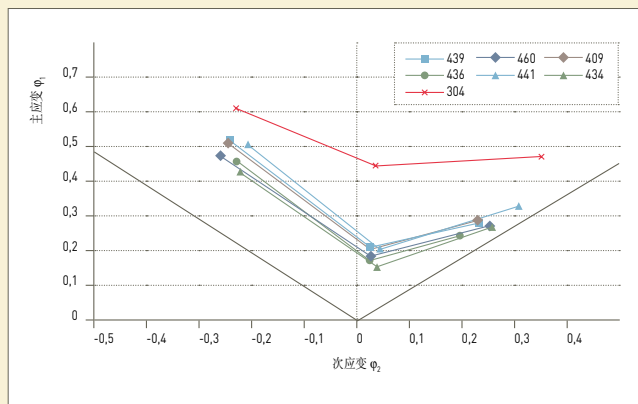
下表比较了不同钢种的拉伸成形性，“顶高”是指圆片在胀形时在“缩颈”（失效前的阶段）之前的最大变形程度。



成形极限曲线

实际上，在工业成形的一系列过程中，冲压与拉伸成形同时存在。

在深冲和拉伸同时存在的过程中，成形极限曲线对于失效前的最大变形具有指导意义。一些主要不锈钢的成形极限曲线已经建立，以用来分析成形过程。



按照两个基本的“真应变”：纵向（“主应变”）和横向（“次应变”），这些曲线定义变形中和变形后的局部变形。曲线将这两种应变的不同组合效果描绘出来，直至断裂。曲线的位置越高，钢种的成形性越好。

如何使用铁素体不锈钢

通常，铁素体不锈钢的加工硬化和延伸性与高强碳钢比较一致。它们不同于奥氏体不锈钢。

必须将设计，结构和制造参数与铁素体不锈钢的相关材料性质一同考虑，来更有效地发挥材料的特性。



“在深冲用钢中，常使用钛稳定钢种 430Ti 来代替奥氏体不锈钢。”

“折皱”

在某些成形过程后，铁素体不锈钢易于出现称为“折皱”和“条痕”的表面现象。



这种缺陷外观为一族线或脊，平行于钢板轧制方向。“折皱”描述了变形表面的整体形貌，既包括微观几何变形，又包括变形所引起的“条痕”波动。



稳定化元素的添加，例如钛，将有助于消除这一缺陷。因此，在深冲领域，钛稳定化钢种 430Ti 常用来替代奥氏体不锈钢。



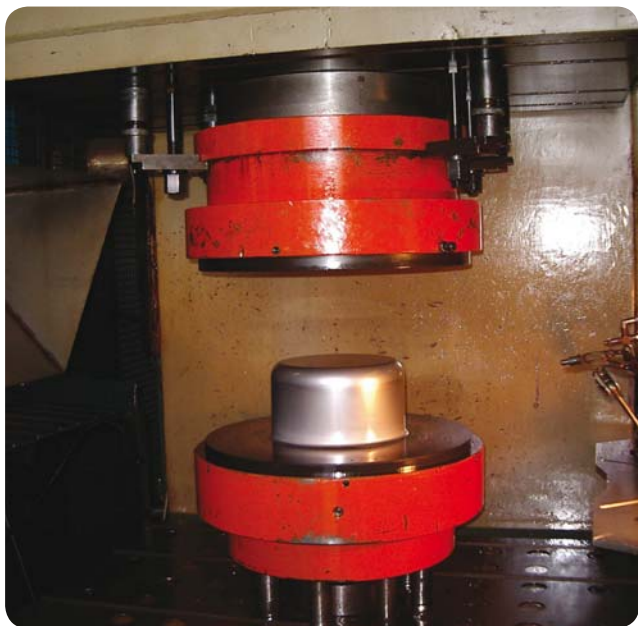
润滑

毛坯和工具润滑是否良好决定着冲压是否成功，润滑可以避免产生表面缺陷以及防止粘贴现象，延长工具使用寿命。

如果铁素体不锈钢以光滑表面交货，可以使用粘度高的冲压润滑剂。不锈钢使用的具有高耐压性的特殊润滑油，几乎不含氯。润滑剂可以均匀的分布于毛坯表面，且冲压后较易去除。

工具

选用正确的工具相当重要，因为它会影响摩擦，从而影响成形过程中金属流动。在特殊情况下，可用铜，铁或铝青铜合金制作工具（模和槽）。



表面处理可以提高工具寿命，例如涂 TiCN。压边装置和阴模必须仔细抛光，而冲床可以粗糙。

“不锈钢使用的润滑剂在冲压后要易于去除。”

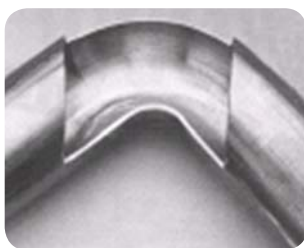
主要钢种的成形性

下表比较了铁素体不锈钢、碳钢和奥氏体不锈钢的成形性（铁素体不锈钢具有特殊的金相组织，因此具有特殊的性能）。成形性的评价来自于标准数据。“bcc”（体心立方）和“fcc”（面心立方）指这几类钢各自的晶体结构。



焊接弯曲歧管，441 不锈钢。

	碳钢	铁素体不锈钢	奥氏体不锈钢
结构	bcc	bcc	fcc
加工硬化	低	低	高
回弹	低	低	高
深冲	优秀	好	好
拉伸成形	好	好	优秀
起皱	无	可能有	无



430Ti 焊管的弯曲。



用 439 制造的波纹和翅片热交换焊管。



1.4003 被压成形的焊管。



1.4003 焊管的变形。



使用铁素体不锈钢的场合

从总体成形性来讲，奥氏体不锈钢要好于铁素体不锈钢。但铁素体不锈钢的成本优势能够增加收益。尤其铁素体不锈钢宜于冲压，使其得到广泛应用。在某些特定的情况下，比如考虑到深冲或回弹效应，铁素体不锈钢要优于奥氏体不锈钢。

关于铁素体不锈钢的使用，用户应该与优秀的材料供应商全面地讨论相关的技术问题。随时与不锈钢行业的专家沟通，可以帮助用户掌握铁素体不锈钢的使用以及确保任何给定的应用场合都能得到最适宜的钢种。

“…铁素体不锈钢宜于冲压，
应用广泛。”



日益严格的环保条例加上科技和经济需求，使得铁素体不锈钢成为制造汽车排气系统的基本原材料。

BERNHARD BLAESER

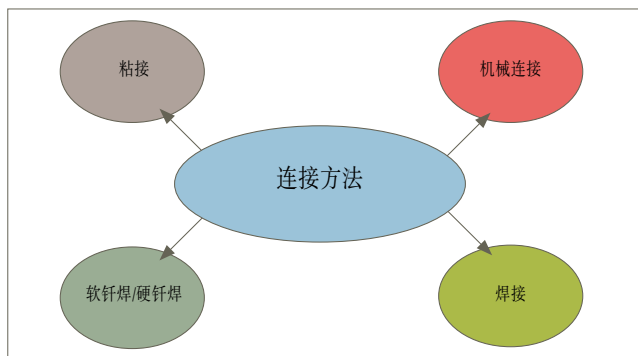
南非 MACADAMS 烘烤设备有限公司经理

“我们公司主要生产烤炉和烘烤校准仪。随着近期奥氏体不锈钢价格的大幅度上涨，许多部件已经或正在放弃使用奥氏体不锈钢。尤其是一些无需加热的，例如烤箱面板，以及其他不直接与食品接触的设备。由于铁素体不锈钢的价格没有受到严重影响，因此选其作为替代品。大致说来，制造商应当考虑用铁素体不锈钢代替奥氏体不锈钢，而不是彻底弃用不锈钢。”



铁素体不锈钢的连接

许多连接不锈钢的方法都能够很好地应用于铁素体不锈钢。



- **焊接**：通过母材和添充金属熔化后重结晶使相互分离的两个或更多的材料达到完全的结合。
- **软钎焊**：使用熔点在 450°C 以下的添充金属，加热其到钎焊温度（低于母材金属的熔点）以获得连接。
- **硬钎焊**：与软钎焊相同，但焊接温度 > 450°C。
- **机械连接**：包括嵌合，卷边结合，铆接和机械紧固等。
- **粘接**：使用粘接剂并对干净和活性的表面施加压力来实现，粘接剂通过氧气，水或化学反应来实现连接作用。

焊接

诸多为碳钢而研发的焊接方法也可以使用在不锈钢焊接中，只有少数真正适合于不锈钢并且已经成为标准的方法有：电弧焊、电阻焊、电子束焊，激光焊和磨擦焊。



“铁素体不锈钢在进行焊接时，具有一些奥氏体不锈钢所不能比的非常实用的优势…”

焊接是连接金属的最经济且效率最高的方法。这个过程使得结构的轻量化成为可能（通过选用最佳材料），连接所有的工业金属并可提供设计的适应性。

不锈钢的焊接性受其化学成分，金相组织和物理性能的影响，铁素体不锈钢在进行焊接时，具有一些比奥氏体不锈钢所不能比的非常实用的优势，这是由于其有较低的热膨胀系数，较低的电阻率和较高的导热性。

稳定化和非稳定化的铁素体类钢

一般说来，铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢相比，焊后产生晶间腐蚀的倾向要小。



尤其是对于经“稳定化处理”的铁素体不锈钢来说，更是这样。所谓稳定化处理，就是添加强碳化物形成元素，如钛（Ti）和铌（Nb）。这些元素在钢中与碳牢固结合起来，在焊接过程中，避免碳与铬结合形成铬的碳化物。这样就避免了在晶间产生贫铬区，经稳定化处理过的铁素体不锈钢的确没有晶间腐蚀倾向。

为了保证完全稳定化，钛的含量必须高于五倍的碳含量，或者铌加钛的含量必须高于三倍的碳含量。有时，适当加入氮，氮与钛、铌形成的氮化物可以细化熔合区的晶粒。

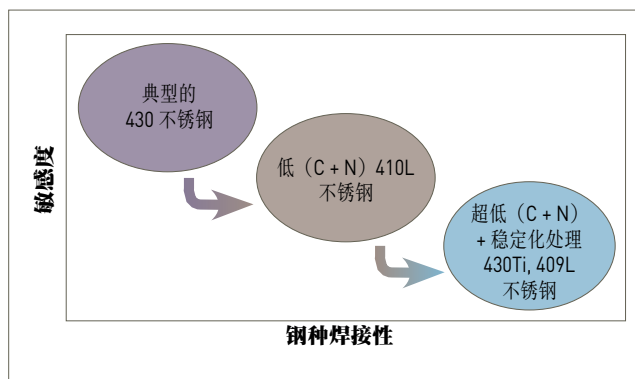
非稳定化处理的铁素体不锈钢不含钛或铌，因此在热影响区具有晶间腐蚀敏感性，这是由于产生了铬的碳化物。这种现象叫“敏化”，其程度主要取决于碳含量。

敏化态的不锈钢的耐蚀性可以通过在 600-800°C 的温度范围内退火处理而恢复。



汽车排气管焊接，439 不锈钢，南韩。

“…经稳定化处理过的铁素体不锈钢的确没有晶间腐蚀倾向。”



高匹配的添充金属

为了保证焊缝也具有耐蚀性，使用的任何铁素体添充金属的 Cr, Mo, Ti 和（或）Nb 合金元素的含量要稍高于其母材中的含量。这是由于在焊接区会由于热的作用而使铬烧损。另外，也可以使用奥氏体填充金属，Cr 和 Mo 的含量要高于母材。

保护气体

由于含 Cr 高，不锈钢在熔化状态下被强烈氧化。如果在焊接过程中没有使其与空气隔离，铬就会烧损并形成氧化物，结果会丧失致密性，降低焊接接头的耐蚀性。对焊缝表面和附近区域的保护通常是通过提供惰性气体的保护来实现的。这种保护气体可以是纯氩（Ar）或氦气（He）或者是二者的混合气体。

在焊接铁素体不锈钢时，保护气体应是纯氩或者是氩和氮的混合气体。氩氮混合气体通常用于奥氏体不锈钢中，但这可能会引起焊接接头的氢脆。在焊接铁素体不锈钢时，氩是最常见的背保气体（用来保护工件的背面）。在焊接铁素体不锈钢时是绝对禁止用氮气的。

铁素体不锈钢焊接问题的发现和解决

除了上述危险之外，还会在高温下由“形成相”和“晶粒粗化”而产生的脆化。这些危险的解决方法列在下面的“补救方法”表中。



焊接罐，444 不锈钢，欧洲。

焊接铁素体不锈钢：补救方法

不锈钢类型	特殊性能	现象	原因	如何避免
非稳定不锈钢	敏化态	焊接区的低耐腐蚀性	在晶界处沿的碳化物的沉积	在 600-800°C 退火
稳定不锈钢	晶粒粗大	焊接区的低韧性	在高温下晶粒的过度长大	减少焊接热输入
Cr 含量大于 15%	475°C 脆化	在 400-540°C 温度区间发生脆化	基体分解为两相：一个富铁相，一个富铬相	在 600°C 加热并快速冷却
高 Cr-Mo 不锈钢	σ 相脆化	在 550-800°C 时发生脆化	δ 铁素体分解形成 σ 相	在 800°C 以上加热并快速冷却
非稳定不锈钢	马氏体相脆化	在低 Cr 和高 C 的类型中会发生脆化	由于快冷而产生的马氏体	在 600-700°C 长时间退火以消除马氏体

电弧焊

电弧焊是铁素体不锈钢焊接中最常用的焊接方法。

钨极氩弧焊 (GTAW 或 TIG/WIG)

在这种方法中（也称为钨或 Wolfram 惰性气体方法），熔化金属所需要的能量是由钨极和工件之间产生的电弧来提供的。



铁素体不锈钢管厂，巴西。

熔化极氩弧焊 (GMAW 或 MIG)

与钨极氩弧焊不同，在熔化极氩弧焊（也称金属惰性气体焊）时，电极（焊丝）是熔化的。电弧在熔化的焊丝和工件之间引燃。保护气体通过焊枪喷出，围绕在焊丝周围，虽然对于某些焊接工艺可以采用更为复杂的混合气体，但保护气体通常是氩气加 2% 到 3% 的氧。

由于焊缝基本上是由填充金属形成的，因此填充金属的成分对于提高熔深和改善与母材的润湿性都是至关重要的。

这种高效的工艺比钨极氩弧焊 (GTAW) 操作起来更为困难，但过程控制良好，其结果会很好。

电阻焊

在电阻焊中，电流通过需要连接的工件之间产生电阻热，用来焊接。



焊接罐，441 不锈钢，南非。

不锈钢的焊接通常是在惰性气体的保护氛围中，采用直流正极性电源来进行焊接（钨极是负极）。如果使用填充金属，焊丝是不需要药皮的（手工焊）或盘状焊丝（自动焊）。



焊接结构框架，1.4003 不锈钢。

现有若干种电阻焊方法，最常见的是点焊和缝焊。在两种情况下，电阻焊的主要优点如下：

- 焊接热影响区（HAZ）的金相组织变化小；
- 如果部件正确冷却的话，可真正实现表面无氧化；
- 在焊后板的变形非常小；
- 焊接过程中的“锻压”形变在铁素体不锈钢的焊接中尤其有用。

与低碳钢相比，不锈钢在焊接参数方面的不同主要是所需能量较低且对焊接电源调节的精确性要求更高（这是由于铁素体不锈钢的低的导热性和导电性）和需要更高的电极力。

其他方法

适用于铁素体不锈钢的其它方法还有电子束焊、激光焊和摩擦焊。

软钎焊和硬钎焊

软钎焊和硬钎焊是通过采用熔点低于母材的易熔的填充金属来连接固态部件的方法。软钎焊采用的钎料的熔点低于450°C，而硬钎焊采用的钎料则较硬且熔点较高。

这两种连接方法优点具有如下的便利性：

- 只需温度很低的热源；
- 连接可以是永久的也可以是暂时的；
- 可用于异种金属之间的连接；
- 加热和冷却速度慢；
- 可连接不同厚度的部件；
- 返工易实现；
- 与焊接相比需要的热量少。

在决定某一特定结构的连接是采用软钎焊或硬钎焊时，必须注意认真评估连接对强度和性能的要求。

在所有情况下，当进行连接时，保证钎料对两固态部件的有良好的润湿性是非常重要的。

对于非稳定化不锈钢，更易发生敏化现象。



酸洗、钝化和除锈

由于焊接而产生的轻微的污染可以通过机械除锈或通过称为酸洗的化学处理方法去除。

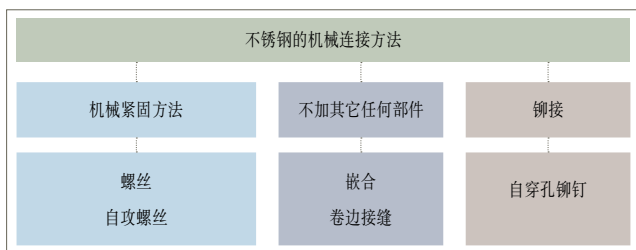
酸洗是在氟酸（10% HNO_3 + 2% HF ）溶液中进行的，或者采用专为焊接接头配制的溶液中进行。

酸洗后可以接着进行钝化和除锈处理以帮助钝化层（见 59 页）迅速重新形成并去掉有机金属残余物（富铁的粒子）。这个过程包括在20%-25%的硝酸水中浸泡。

焊接区的局部钝化也可通过采用特殊的钝化涂料来进行。

机械连接

在碳钢中使用的机械连接方法同样也适用于不锈钢。



机械连接方法有以下特有优点：

- 异种材料易于连接；
- 没有热影响区（HAZ）
- 不同厚度的部件可实现连接；
- 没有热膨胀。

然而必须考虑到，由于没有实现连接部件之间的完全融合，机械连接方法形成的连接存在机械强度降低这样一个事实。这种方法可能也需要工件两边都具备可操作性。

确认没有接触的表面会由于电极耦合作用而易于产生腐蚀是非常重要的。为了避免这个危险发生，连接的部分应当使用同一种不锈钢或相当种类的不锈钢。当然，所有的螺丝、插销或铆钉应该都是用不锈钢制造的。

螺丝连接和销接

所有类型的不锈钢中都有螺丝和销。在腐蚀性小的环境中，最好选用含 17% Cr 的铁素体不锈钢，通过添加 1%-1.5% Mo 可以提高它们在含氯化物的介质中的耐蚀性。



铆接

这种方法通常在常温下进行，铆钉的直径最大不超过 5 mm。强烈建议在进行铆接设计时遵循这样一个原则，即铆钉尽量受剪应力而不是受拉应力。



嵌合

这种相对来说比较新的连接方法可以很容易地用于不锈钢，这是由于不锈钢具有很好的延展性。作为一种冷成型加工方法，它不产生结构变形或表面氧化。

由于连接的两块板必须重叠，嵌合时通常会采用粘接剂，形成一个密封的连接，以免缝隙腐蚀，同时也可以防止在使用过程中产生振动。

卷边结合

在这种机械连接方法中，其中一边的板或两边的板的边缘弯一个 180° 的角度以形成紧密的接缝。与嵌合相比，这种方法可以连接不同的金属，如奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢。

用这种方法可实现完美的防漏的连接，因此这种方法广泛用于家用器具的制造中。



粘接

粘接可以用来加强机械连接，就其本身而言是用来连接薄不锈钢板的。



槽接头，镀锌 430Ti 不锈钢板。

粘接具有以下优点：

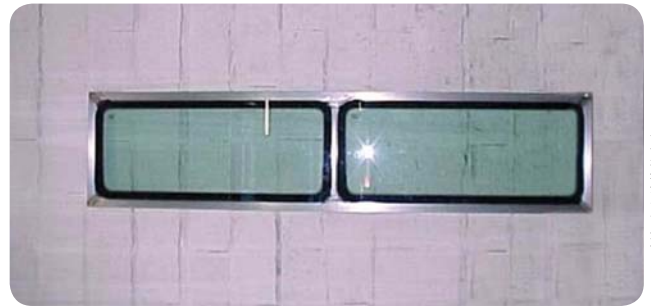
- 连接区的表面、形状和金相组织无变化。
- 异种材料之间易于实现连接且美观。
- 设计正确情况下，连接处有优良的抗疲劳性能。
- 采用此方法可以实现绝热，绝缘，隔音的效果。
- 可连接不同厚度的材料。

然而，需要考虑到以下几点，这种连接一般温度极限是 200°C，对潮湿也比较敏感，粘接接头的强度无法与焊接或钎接的接头相比。所以这种方法主要是用于搭接接头，这样可以使载荷分配在足够大的区域上以降低局部应力。

表面光滑的不锈钢（尤其是经光亮退火的）是不可能有很好的粘接效果的。

经过粗糙化以后，表面应该非常干净，干燥并且状态良好，形成良好粘接的重要条件是粘接剂对基体金属的满意的浸润性。

作为一个粘接的例子，汽车和客车的制造商现在经常建造一个由不锈钢异型型材制造的车身框架，通常是采用铁素体不锈钢 1.4003/410。外壳（薄板和/或玻璃）紧密地粘在这个车身框架上。这种设计提高了车辆的寿命并减轻了重量。



1.4003 不锈钢空心结构的窗户。







NICK MCDONALD

英国林肯市 LINCAT 有限公司市场部经理

“Lincat 公司成立于 1971 年，作为生产专业厨房设备的领跑者已有 36 年的历史。我们从一开始就使用的 430 铁素体不锈钢，是我们所有产品绝对根本的原材料。”

“该钢种是符合此类应用需求的理想材料，而且以其经济实惠使我们尝到了使用不锈钢的甜头，这在涉及到食物准备和展示时尤为重要。此外，430 不锈钢热膨胀系数低使其在涉及高温应用领域具有技术上的优势。”



“我们用 430 铁素体不锈钢制造除了个别部件以外的几乎所有产品，例如双重蒸锅的内胆，目前我们仍使用 304 不锈钢。在加工方面，我们的产品都被设计成非常易于清理，而 430 不锈钢能够满足这种设计期望。”

“通过密切关注客户的需求，我们的产品以杰出的可靠性和坚实耐用的结构赢得了良好的声誉。430 铁素体不锈钢是整体设备中关键部分。我们与客户都十分满意。”

产品和应用

铁素体不锈钢经常和装潢装饰、水池以及汽车排气系统联系在一起，其实这类钢种实际以及潜在的应用范围远远超过这个狭窄的区域…

铁素体不锈钢是一种不含镍的铬钢，有耐腐蚀性、抗氧化性，很高的抗应力腐蚀性，具有磁性并且在技术、美观和应用上都有优势。这类钢种在长期使用中比普通碳钢有更好的性能，最关键的是比含镍的奥氏体不锈钢的价格更低。

铁素体不锈钢的应用范围正在不断探索中，下面将给出一些这类钢种可能应用到的范围，这个范围包括全球许多地区和市场。

这篇文章主要目的是通过介绍铁素体不锈钢已有的成功应用来吸引那些已经使用和有可能使用这类钢种的用户，进一步促使用户进行可靠的、更广泛的材料选择—对材料进行最合理的搭配，至于这些应用方面的介绍并不是最重要的。

汽车方面

汽车排气系统



1.4509/441 不锈钢，
柴油机粒子过滤器，
标致 607, Faurecia

汽车排气系统



1.4509/441 不锈钢，
排气歧管， Faurecia

汽车排气系统



1.4512/409 不锈钢，消音器，
Faurecia, 韩国

汽车排气系统



304 & 441 不锈钢，
柴油机粒子过滤器，
E 级奔驰, Faurecia

汽车排气系统



SUS430J1L 不锈钢，
催化式排气净化器外壳，
蜂窝结构，20%Cr-5%Al

汽车排气系统



排气净化器外壳，1.4509/441
不锈钢， Faurecia

装潢装饰



SUS430 不锈钢，韩国

装潢装饰



SUS430J1L 不锈钢，日本

装潢装饰



SUS430 不锈钢, 韩国

装潢装饰



1.4016/430 不锈钢,
黑色涂层装饰, 美国

装潢装饰



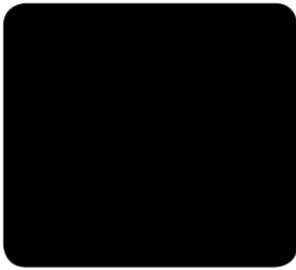
1.4113/434 不锈钢, 美国

SUV 汽车前栅部件



1.4513 不锈钢,
塑胶混合, 法国

汽车低框



1.4510/430Ti 不锈钢,
标致 307, 法国

前灯



1.4513 不锈钢,
前灯装饰, 意大利

卡车



1.4113 不锈钢,
卡车装饰, 美国

夹具



1.4509/441 与
1.4016/430 不锈钢

过滤器



1.4512/409L 不锈钢,
中国, 台湾

制动圆盘



1.4028/420 不锈钢

热动开关



1.4512/409 不锈钢, 法国

浆轮



1.4512/409 不锈钢,
厚度 1.5 mm, 法国

建筑和结构

附件

铁窗铰链和扣件



1.4016/430 不锈钢, 欧洲

建筑排水系统



1.4510/439 不锈钢,
镀锡, 欧洲

建筑排水系统



1.4510/439 不锈钢, 欧洲

烟囱



Cheminées Poujoulat,
1.4521/444 不锈钢, 法国

结构

方管外部隔热构件



SUH409L [1.4512/409] 不锈钢,
JSSA, 日本

应急房屋



1.4016/430 不锈钢, 彩涂,
VERNEST® and Centro
Inox, 意大利

通讯系统防护罩



SUS436L [1.4526/436] 不锈钢,
JSSA, 日本

厂房



1.4003 不锈钢,
哥伦布新精整车间, 南非

屋顶钢结构



房顶支撑:
铁素体不锈钢潜在的应用领域

建筑物



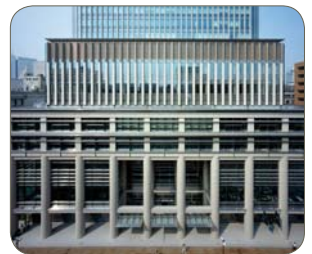
SUS445J1、SUS445J2 不锈钢,
Nakano Sakaue 大楼,
1996, 日本

建筑物



SUS445J2 不锈钢涂脂,
凤凰胜地, 1994, 日本

建筑物



外部 SUS445J1, 内部 SUS304
不锈钢, Nihonbashi Mitsui
大楼, 2005, 日本

民用建筑

天桥吸音板



SUS436 [1.4526/436] 不锈钢,
JSSA, 日本

钢结构桥梁



1.4003/410 彩涂不锈钢,
SASSDA,
南非 (桥梁使用期超过 8 年)

隧道内壁



SUS430J1L [1.4016/430]
不锈钢, JSSA, 日本

隧道内壁



1.4016/430 彩涂不锈钢,
Monte Mario 隧道,
Centro Inox, 意大利

防风围栏



SUS445J2 不锈钢,
JSSA, 日本

站台屏蔽门



1.4510/439 不锈钢, 微丝加工,
KOSA, 韩国

电线杆



1.4003 不锈钢
(最初应用于 1982 年,
沿海岸线——距海浪 10m,
无锈蚀), 南非

发电站



1.4003/ 410 不锈钢, 冷却塔
X-栅格填充物, 南非

幕墙

大楼正面幕墙



SUS445M2 不锈钢,
低反射率无光处理,
ASSDA, 澳洲

大楼正面幕墙



1.4521/444 不锈钢 No. 4
磨砂板 (水平面板),
Vivo 大楼, Rio De Janeiro,
Nucleo Inox,
巴西 (沿海环境)

大楼正面幕墙



SUS445J2 不锈钢,
未来科学博物馆, JSSA, 日本

大楼正面幕墙



1.4526/436 不锈钢,
Ugine & Alz 钢铁服务中心,
阿塞勒-米塔尔不锈钢公司,
Katowice, 波兰

电梯

电动扶梯台阶



SUS430LX
(1.4016/430) 不锈钢, 日本

电梯面板



1.4510/439 不锈钢

屋顶

媒体中心屋顶



SUS445J2 不锈钢,
北九州市媒体中心
(福冈县) 1998, 日本

学校屋顶



430Ti 不锈钢 (立接缝技术),
Ugine & Alz, 奥地利

体育馆屋顶



445 不锈钢, KOSA, 韩国

天蓬



446 不锈钢,
KOSA, 韩国, 首尔

农舍屋顶



1.4510/430Ti 不锈钢
(立接缝技术),
Ugine & Alz, 德国

机场屋顶



SUS447J1 不锈钢,
Kansai 机场候机楼
(设计师Renzo Piano),
JSSA, 日本, 大阪

城市设施

路灯



1.4510/439 不锈钢,
电解抛光焊管,
KOSA, 韩国, 首尔

邮政信箱



1.4003/410 不锈钢,
彩色喷涂, SASSDA, 南非,
当考虑以美观为主时,
铁素体不锈钢经常经彩涂处理。

铁路站台售票机



1.4003/410 不锈钢, 彩涂
(役期15年), SASSDA, 英国

电气箱体



1.4003/410 不锈钢, 彩涂
(役期 15年), SASSDA, 南非

食品商用设备

面包烤箱



430 不锈钢, Macadams 烘焙系统有限公司, 南非

燃气厨具



430 不锈钢, 英国, 林肯

大型咖啡机



SUS430J1 不锈钢, JSSA, 日本

加热售饭机



430 不锈钢, 英国, 林肯

连续式烤面包机



430 不锈钢, 英国, 林肯

微波炉



430 不锈钢 (内、外部件), JSSA, 日本

并列式燃气炉



430 不锈钢 (燃气架), POSCO, 韩国

冷库



面板为经树脂涂层处理 SUS430J1L 不锈钢, JSSA, 日本

咖啡机



430 不锈钢, 英国, 林肯

餐厅手推车



430 不锈钢

展示柜台



430 不锈钢, 英国, 林肯

吊柜



430 不锈钢, 英国, 林肯

家庭 & 办公

铁素体（400 系）不锈钢在以下应用领域已被广泛接受，这是因为其特有的美观性，对清洁剂及消毒剂的耐蚀性，较低的热膨胀系数和具有磁性（适用于电磁灶）。以及与其他材料相比相当可观的成本优势。

家用厨具

燃气炉



KOSA, 韩国

组合



TKN, 德国

微波炉



SUS430J1 不锈钢,
JSSA, 日本

燃气灶



TSSDA, 泰国

烧烤炉



1.4016/430 不锈钢,
风挡及火盆, Ompagrill
and Centro Inox, 意大利

烧烤炉



1.4016/430 不锈钢烧烤炉,
美国

炊具

炒菜锅



电磁感应炊具



SEB 集团 (Tefal)

高压锅



430 不锈钢, SEB 集团

平底锅



430 不锈钢, POSCO, 韩国

洗碗机

洗碗机



430 不锈钢内面板

洗碗机



外面板为经树脂涂层处理的
SUS430J1L 不锈钢,
JSSA, 日本

电器应用

洗碗机



430 不锈钢 (内外面板),
海尔, 中国

搅拌机



1.4513 不锈钢, TKN, 意大利

搅拌机



430 不锈钢

电饭煲



经树脂涂层处理的 SUS430
不锈钢, JSSA, 日本

装置器材

电热水壶



SUS430 经树脂涂层处理,
JSSA, 日本

架子



1.4016/430 不锈钢,
水平架, Graepel and
Centro Inox, 意大利

垃圾箱



1.4016/430 不锈钢,
Graepel and Centro Inox,
意大利

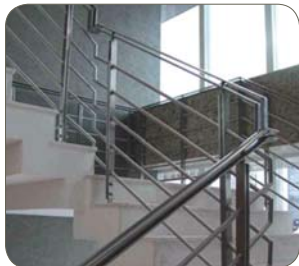
隔断



430 不锈钢, POSCO, 韩国

排风罩

楼梯扶手



430 不锈钢焊管

液晶显示器边框



410 不锈钢, POSCO, 韩国

厨房排风罩



430 不锈钢, Blanco,
TKN, 德国

厨房排风罩



430 不锈钢, Falmecc,
Nucleo Inox, 巴西

厨房用具

液体分装机



430 不锈钢

电热水壶



430 不锈钢, SEB 集团

意粉蒸煮锅



单层 SUS430J1L 不锈钢
(电磁感应加热), JSSA, 日本

冰箱

电冰箱和制冷机



430 不锈钢面板

水槽

电冰箱和制冷机



430 不锈钢门面板,
TKN, 德国

家庭厨房用水槽



430 不锈钢,
Tramontina, 巴西

洗衣机

滚筒



430 不锈钢 (滚筒和面板),
TKN, 德国

滚筒



430 不锈钢滚筒,
LG 电器, 韩国

甩干机

滚筒



SUS430 不锈钢, JSSA, 日本

滚筒



409 不锈钢, 惠而浦, 欧洲

餐具

汤匙



430 不锈钢

餐具



400 系不锈钢, 宜家

工业

铁素体不锈钢目前已经广泛应用于许多碳钢难以满足维护需求的领域。

大坝泄洪管



1.4003/410 不锈钢喷涂处理,
Columbus, 南非

防洪水闸



1.4003/410 不锈钢喷涂处理,
Columbus, 南非

罐箱



SUS430J1L 不锈钢,
经树脂彩涂处理 (外表),
JSSA, 日本

分馏塔



410S 不锈钢, 欧洲

燃烧器

传送带



410S 不锈钢, 欧洲

燃烧器



1.4509/441 不锈钢
(较好的抗氧化性)

燃烧器



SUS430 不锈钢, 锅炉燃气炉,
JSSA, 日本

锅炉

锅炉内管



1.4521/444 不锈钢,
KOSA, 韩国

“蒸发器”即时沸水加热器



1.4521/444 不锈钢,
ZIP 工业和 ASSDA, 澳洲

锅炉



444 不锈钢, 欧洲

热水罐



1.4521/444 不锈钢, 欧洲

热水罐



SUS444 不锈钢, JSSA, 日本

食品加工

墙壁及天花板



445M2 不锈钢, 澳洲, 墨尔本

热交换器

烘干机再热器焊管



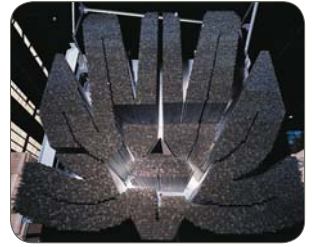
1.4510/439 不锈钢, VALTIMET, 欧洲

给水加热器焊管



1.4510/439 不锈钢, VALTIMET, 欧洲

冷凝器焊管



1.4510/439 不锈钢, VALTIMET, 欧洲

替代: 铜镍合金 (由于水蒸气侵蚀及铜析出), 碳钢 (腐蚀问题) 以及 304 不锈钢 (热膨胀率高于碳钢)。

太阳能热水器

太阳能热水器



SUS444 不锈钢, Suncue 有限公司和焯联, 中国, 台湾

太阳能热水器



1.4509/441 不锈钢 (圆筒), Sun Tank and SASSDA, 南非

太阳能热水器



太阳能电池板: 机座和集电极 使用铁素体不锈钢 441/444.

制糖业

传送系统



1.4003/410 不锈钢, Columbus, 南非。在这里, 铁素体不锈钢使用寿命已达 18 年。

传送板



1.4003/410 不锈钢, Columbus, 南非。这部机器已经运行 22 年。

蔗汁加热罩



1.4003/410 不锈钢, Columbus, 南非。碳钢罩 (上) 与使用了 6 年的铁素体不锈钢罩比较。

热交换管



1.4521/444 不锈钢, Nucleo Inox, 巴西

结晶器和扩散管



1.4003/410 不锈钢, Columbus, 南非

罐箱

水箱、管道



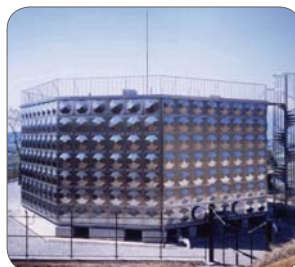
444 不锈钢, 巴西

水箱



444 不锈钢, KOSA, 韩国

水箱



部分使用 SUS444 不锈钢,
No. 4 表面, JSSA, 日本

水箱



部分使用 SUS444 不锈钢,
No. 4 表面, JSSA, 日本

摩托车

发酵和贮藏罐



444 不锈钢, Nucleo Inox,
巴西。Sander Inox
成功制造这种罐箱已有 7 年。

发酵和贮藏罐



444 不锈钢,
Nucleo Inox, 巴西

摩托车排气管



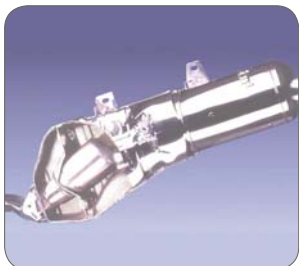
1.4512/409L 不锈钢,
烨联, 中国, 台湾

摩托车排气管



1.4509/441 不锈钢,
Centro Inox, 意大利。新型
Vespa ET2 摩托车配备了铁
素体不锈钢制作的消音器。

摩托车排气管



409L 不锈钢

摩托车排气管



409L 不锈钢, 阿谢西塔, 巴西

刹车盘



SUS410SM1 不锈钢,
JSSA, 日本

多方面



420 不锈钢刹车盘,
1.4113 装饰材, 意大利

运输

大型客车和长途汽车底架



1.4003/410 不锈钢,
Columbus, 南非

大型客车和长途汽车底架



1.4003/410 不锈钢
(下部彩涂), Columbus, 南非

大型客车和长途汽车底架



1.4003 不锈钢焊管及面板,
Solaris Bus & Coach Co, 波兰

集装箱



1.4003/410 不锈钢
(框架和面板), POSCO, 韩国

集装箱



1.4003/410 不锈钢,
彩涂 (框架和门面板)

运煤车



1.4003/410 不锈钢
(面板), Columbus,
南非。役期超过 20 年。

运煤车



1.4003/410 不锈钢
(面板), Columbus,
南非。役期超过 15 年。

运煤车



1.4003 不锈钢 (内部及前部),
SASSDA, 南非

运煤车



1.4003/410 不锈钢,
彩涂, 欧洲

运煤车



409/410, 彩涂, 太钢, 中国

运煤车



1.4003 不锈钢,
SASSDA, 南非

有轨电车



1.4003/410 不锈钢
(车身框架和彩色面板), 欧洲



SIEMENS

5000

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

附录

铁素体不锈钢的化学成分

铁素体不锈钢具有和低碳钢相似的性能却具有更好的耐腐蚀性。这类钢是在上一个世纪才发展起来的。

早期的铁素体不锈钢

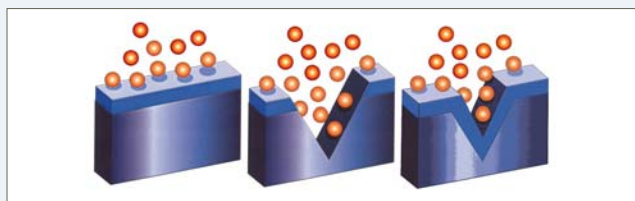
不锈钢是在 1900-1915 年间发明的。实际上是数个科学家研究工作累积的结果。在英国、法国、德国，研究成果以合金成分分成我们所熟知的 410、420、430、442、446、440C 等钢种。

不锈钢的碳含量必须达到一个非常低的标准，很多年以来，这个标准一直难以达到，直到上世纪 80 年代才很好地解决了这个问题。

钢种及其化学成分

Cr 是不锈钢产品中最重要的元素，它能够在金属表面生成钝化膜使不锈钢具有耐蚀性，提高抗氧化性、耐磨性以及抗拉强度。

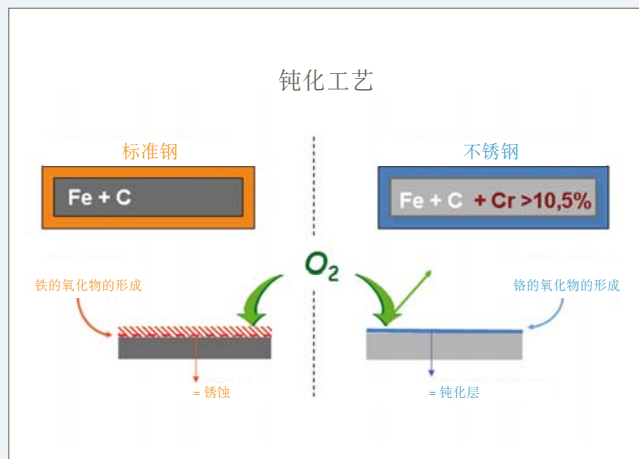
至少含有 10.5% 的 Cr（重量）才能形成可靠的自修复氧化铬层，铬含量越高，钝化层的作用就越好。



在大气和水环境中，如果不锈钢表面被加工或偶尔被破坏，钝化层能够及时修复。

化学成分和国际标准

下面的表格给出了 5 类铁素体不锈钢的化学成分分析：



第 1 类	第 2 类	第 3 类	第 4 类	第 5 类
10%-14%	14%-18%	14%-18% 稳定化	添加 Mo	其他
409, 410, 420 型 Cr 含量: 10%-14%	430 型 Cr 含量: 14%-18%	430Ti, 439, 441 型等 Cr 含量: 14%-18%. 包含稳定化元 素 Ti, Nb 等	434, 436, 444 型等 Mo 含量在 0.5% 以上	Cr 含量在 18%-30% 与前 4 类不同

标准: - ASTM A 240 - 06C, 2006. 11
 - EN 10088-2, 2005. 9
 - JIS G 4305, 1991

第 1 类

	AISI, ASTM	化学成分 (最大值 重量 %)														标准	Ref.
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
10%-14%Cr	403(M)	0.15 0.12-0.17	0.5 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.015	11.5-13.0 12.0-14.0									JIS EN	SUS403 1.4024
	405	0.08 0.08 0.08 0.08	1.0 1.0 1.0 1.0	1.0 1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.015 0.03	11.5-14.5 12.0-14.0 12.0-14.0 11.5-14.5					0.1-0.3 0.1-0.3 0.1-0.3		0.6		UNS EN EN JIS	S40500 1.4000 1.4002 SUS405
	409L	0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.7 1.0	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.5 1.0 1.0 1.5 1.0	0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04	0.03 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.015 0.015 0.015 0.015 0.03	10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-11.7 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-12.5 10.5-11.75		6x[C+N]-0.5 8x[C+N]-0.5 [0.08+8x[C+N]]-0.75 0.05-0.2 6x[C+N]-0.75 6x[C+N]-0.65 0.05-0.35 6xC-0.75	0.17 0.1 0.18-0.4			0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03	0.5 0.5 0.5 0.5-1.0 0.5-1.0 0.5 0.5-1.5 0.6		UNS UNS UNS UNS UNS EN EN JIS	S40910 S40920 S40930 S40945 S40975 S40977 1.4512 1.4516 SUH409L
	410(M)	0.08-0.15 0.08-0.15 0.15	1.0 1.0 1.0	1.0 1.5 1.0	0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.03	11.5-13.5 11.5-13.5 11.5-13.5									UNS EN JIS	S41000 1.4006 SUS410
	410L	0.03 0.03 0.04 0.03	1.0 1.0 1.0 1.0	1.5 1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.045 0.04	0.03 0.03 0.03 0.03	10.5-12.5 12.0-13.0 10.5-12.5 11.0-13.5			9[C+N]-0.6				0.03 0.03 0.1	1.5 0.5 0.6-1.10	UNS UNS UNS JIS	S41003 S41045 S41050 SUS410L
			0.03	1.0	1.5	0.04	0.015	10.5-12.5							0.3-1.0	EN	1.4003
	410S(M)	0.08 0.08	1.0 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.03	11.5-13.5 11.5-13.5								0.6 0.6	UNS JIS	S41008 SUS410S
	420J1(M)	0.16-0.25 0.16-0.25	1.0 1.0	1.0 1.5	0.04 0.04	0.03 0.015	12.0-14.0 12.0-14.0									JIS EN	SUS420J1 1.4021
	420J2(M)	0.26-0.40 0.26-0.35 0.36-0.42 0.43-0.50	1.0 1.0 1.0 1.0	1.0 1.5 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.015 0.015	12.0-14.0 12.0-14.0 12.5-14.5 12.5-14.5									JIS EN EN EN	SUS420J2 1.4028 1.4031 1.4034

第 2 类

	AISI, ASTM	化学成分 (最大值 重量 %)														标准	Ref.
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni			
14%-18%Cr	420	0.08 0.08	1.0 1.0	1.0 1.0	0.045 0.04	0.03 0.015	13.5-15.5 13.5-15.5	0.2-1.2 0.2-1.2	0.3-0.5 0.3-0.5						1.0-2.5 1.0-2.5	UNS EN	S42035 1.4589
	429	0.12 0.12	1.0 1.0	1.0 1.0	0.04 0.04	0.03 0.03	14.0-16.0 14.0-16.0									UNS JIS	S42900 SUS429
	429J1(M)	0.25-0.40	1.0	1.0	0.04	0.03	15.0-17.0									JIS	SUS429J1
	430	0.12 0.08 0.12	1.0 1.0 0.75	1.0 1.0 1.0	0.04 0.04 0.04	0.03 0.015 0.03	16.0-18.0 16.0-18.0 16.0-18.0								0.75	UNS EN JIS	S43000 1.4016 SUS430
	1.4017	0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0								1.2-1.6	EN	1.4017
	440(M)	0.6-0.75	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0									JIS	SUS440A

第 3 类

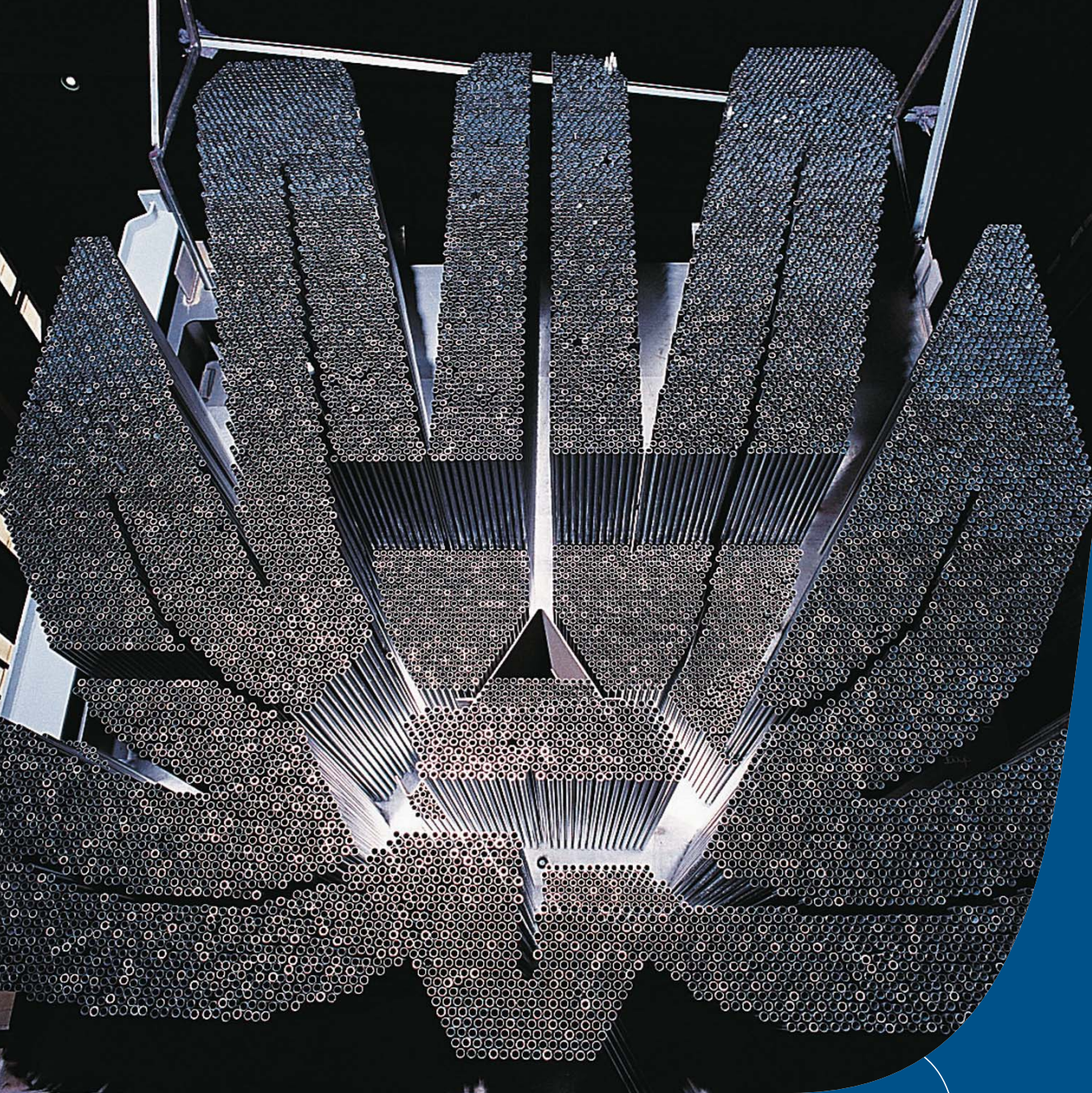
	AISI, ASTM	化学成分 (最大值 重量 %)													标准	Ref.		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni				
14%-18%Cr 稳定化	430J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-20.0				8x[C+N]-0.8	0.3-0.8		0.025			JIS	SUS430J1L
	430LX	0.03	0.75	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0			0.1-1.0					0.6		JIS	SUS430LX
	439	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0			[0.2+4x(C+N)]-1.10			0.15	0.03	0.5		UNS	S43035
		0.05	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0			[0.15+4x(C+N)]-0.8							EN	1.4510
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-19.0			[0.2+4x(C+N)]-0.75			0.15	0.03	0.5		UNS	S43932
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5			0.1-0.6	[0.3+(3xC)]						UNS	S43940
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-17.5				0.35-0.55						EN	1.4590
		0.025	0.5	0.5	0.04	0.015	16.0-18.0			0.3-0.6							EN	1.4520
		0.02	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0				0.2-0.6						EN	1.4595
	430Ti	0.05	1.0	1.0	0.4	0.015	16.0-18.0			0.6							EN	1.4511
441	0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	17.5-18.5			0.1-0.6	9xC+0.3-1						UNS	S44100	
	0.03	1.0	1.0	0.04	0.015	17.5-18.5			0.1-0.6	3xC+0.3-1						EN	1.4509	

第 4 类

	AISI, ASTM	化学成分 (最大值 重量 %)														标准	Ref.		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni	Other				
添加 Mo	415	0.05	0.6	0.5-1.0	0.03	0.03	11.5-14.0	0.5-1.0						3.5-5.5			UNS	S41500	
	434	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25										UNS	S43400
		0.08	0.75	0.8	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4										EN	1.4113
		0.08	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.8-1.4					0.04					EN	1.4526
		0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25			[7x(C+N)+0.1]-1.0						JIS	SUS434	
	436	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-18.0	0.75-1.25			8x(C+N)-0.8			0.025			UNS	S43600	
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.015	16.0-18.0	0.9-1.4			0.3-0.6						EN	1.4513	
		0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	16.0-19.0	0.75-1.25			8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS436L	
	1.4419(M)	0.36-0.42	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-14.5	0.6-1.0									EN	1.4419	
	1.4110(M)	0.48-0.60	1.0	1.0	0.04	0.015	13.0-15.0	0.5-0.8							V≤0.15		EN	1.4110	
	1.4116(M)	0.45-0.55	1.0	1.0	0.04	0.015	14.0-15.0	0.5-0.8								0.1≤V≤0.2		EN	1.4116
	1.4122(M)	0.33-0.45	1.0	1.5	0.04	0.015	15.5-17.5	0.8-1.3										EN	1.4122
	1.4313(M)	≤0.05	0.7	1.5	0.04	0.015	12.0-14.0	0.3-0.7						≥0.02	3.5-4.5		EN	1.4313	
	1.4418(M)	≤0.06	0.7	1.5	0.04	0.015	15.0-17.0	0.8-1.5						≥0.02	4.0-6.0		EN	1.4418	
	436J1L	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	0.4-0.8			8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS436J1L	
	444	0.025	1.0	0.7-1.5	0.04	0.03	17.5-19.5	1.75-2.5			0.2+4(C+N)-0.8				1.0		UNS	S44400	
0.025		1.0	1.0	0.04	0.015	17.0-20.0	1.8-2.5			4x(C+N)+0.15-0.8			0.03			EN	1.4521		
0.025		1.0	1.0	0.04	0.03	17.0-20.0	1.75-2.5			8x(C+N)-0.8			0.025			JIS	SUS444		

第 5 类

	AISI, ASTM	化学成分 (最大值 重量 %)													标准	Ref.			
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ti	Nb	Cu	Al	N	Ni					
其他	445	0.02	1.0	1.0	0.04	0.012	19.0-21.0				10x(C+N)-0.8	0.3-0.6		0.03	0.6		UNS	S44500	
	445J1	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0				0.7-1.5			0.025			JIS	SUS445J1	
	445J2	0.025	1.0	1.0	0.04	0.03	21.0-24.0	1.5-2.5						0.025			JIS	SUS445J2	
	446	0.06	0.75	0.75	0.04	0.02	25.0-27.0	0.75-1.5			0.2-1.0		0.2		0.04			UNS	S44626
		0.01	0.4	0.4	0.02	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5				0.05-0.2	0.2		0.015	0.5		UNS	S44627
		0.025	0.75	1.0	0.04	0.03	24.5-26.0	3.5-4.5							0.035	3.5-4.5		UNS	S44635
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	25.0-28.0	3.0-4.0			[0.2+4(C+N)]-0.80				0.04	1.0-3.5		UNS	S44660
		0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	25.0-27.5	0.75-1.5			6x(C+N)-1.0				0.015	0.5		JIS	SUSXM27
	447	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2					0.15		0.02	0.15	[C+N] 0.025	UNS	S44700
		0.03	1.0	1.0	0.04	0.03	28.0-30.0	3.6-4.2							0.045	1.0		UNS	S44735
		0.025	1.0	1.0	0.03	0.01	28.0-30.0	3.5-4.5							0.045			EN	1.4592
		0.01	0.4	0.4	0.03	0.02	28.5-32.0	1.5-2.5			[4x(C+N)+0.15]-0.8				0.015			JIS	SUS447J1
448	0.01	0.2	0.3	0.025	0.02	28.0-30.0	3.5-4.2					0.15		0.02	2-2.5	[C+N] 0.025	UNS	S44800	



铁素体不锈钢焊管用做发
电站冷凝管，令人震撼。

附录

表面加工

不锈钢表面加工处理有很多形式，主要有以下几种，见下表。铁素体表面加工处理同奥氏体不锈钢及其他钢种一样。

种类	ASTM	EN 10088-2	备注
热轧	1	1E/1D	热轧到一定厚度，经退火酸洗后获得的较粗糙的亚光表面。
冷轧	2D	2D	冷轧到一定厚度，经退火酸洗；或经毛面辊平整后获得的亚光、冷轧表面。
冷轧	2B	2B	除退火酸洗后再经过抛光辊抛光之外，其余生产工艺同 2D 一样而获得的光亮冷轧板表面。这种表面处理较常见，且与 No. 1 及 2D 表面相比更易于抛光。
光亮退火	BA	2R	冷轧后在保护气氛中进行光亮退火后，获得的 BA 表面光亮度优于 2B 表面。
磨砂处理	No. 4	1J/2J	粗磨后再经 120-150 号研磨料进行研磨处理，获得的普通用途光亮加工表面。
绸布抛光处理 (亚光处理)	No. 6	1K/2K	经软绸面加工的表面比刷面（或粗抛）加工的表面反射率较低。软缎面加工是使用坦比哥刷处理的。
光亮抛光处理 (镜面处理)	No. 8	1P/2P	具有最高反射率，通过使用较好的研磨料反复研磨然后再用较好的磨光剂进行磨光后获得的表面，这种表面经过最初的研磨已经基本上看不到研磨的痕迹。
电解抛光处理	-	-	通过电击的形式消除表面不规则的凸点后所获得的表面，这种电化学过程有助于改善表面质量。

(备注：以上为非正式表格，仅供参考。)



2D



2B



BA



no. 4



no.6

附录

参考文献

- Bucher, L., P.-O. Santacreu 等. “铁素体不锈钢 AISI 441-EN 1.4509 从室温到 850°C 的弹塑性行为.” *国际 ASTM 期刊 (JAI)*. Vol. 3, 2006, 7 及疲劳和断裂力学 (研讨会), Vol. 35.
- Cunat, Pierre-Jean. “不锈钢工作” 巴黎: SIRPE, 1998.
- Fedosseev, A 和 D. Raabe. “使用谐波电流重叠方法模拟热轧 FeCr 过程的不均匀变形.” *Scripta Metall. Mater* Vol. 30 (1994): 1-6.
- Gümpel, P., N. Arlt 等. “用于客车排气系统的不锈钢腐蚀行为的模拟.” *汽车技术杂志 (ATZ)* No. 4 (2004): 350-356.
- Huh, M.-Y., J.-H. Lee, 等. “沿厚度方向的宏观和微观结构梯度变化对 17%Cr 铁素体不锈钢板表面皱折的影响.” *钢研究* Vol. 76, No. 11 (2005): 797-806.
- Kim, D. S., J. H. Park, 等. “AOD 过程中提高含 16%Cr 铁素体不锈钢的纯净度”, *La Revue de Metallurgie* No. 4, 巴黎 (2004): 291-299.
- Kim, K. Y. Kim, 等. “POSCO 铁素体不锈钢的发展.” *宝钢第二届学术会议*. Vol. 3, 中国, 上海 (2006).
- Lee, S.-B., M.-C. Jung, 等. “铌对氮在高铬钢中的溶度的影响.” *日本国际钢铁协会*. l Vol. 42 (2002): 603-608.
- Lee, S.-B., J.-H. Choi, 等. “含Cr16% 的铬合金熔液中铝脱氧的平衡.” *冶金与材料论文集 B*, Vol. 36B (2005): 414-416.
- Miyazaki, A., J. Hirasawa, 等. “应用于汽车排气系统方面的耐高温且具有良好成形性的 RMH-1 铁素体不锈钢的发展.” *川崎钢铁技报*. No. 48 (2003): 328.
- Miyazaki, A., Takao, 等. “铌对铁素体不锈钢高温区强度的影响.” *日本国际钢铁协会*. Vol. 42, No. 8 (2002): 916-920.
- Murayama, M, N. Makiishi, 等. “不锈钢表面钝化层的纳米级化学分析.” *腐蚀科学*. Vol. 48 (2006): 1307-1308.
- Park, J. H., D. S. Kim, 等. “应用铝脱氧和钙处理的方法控制含 16%Cr 不锈钢的夹杂物.” *钢铁技术杂志自动信息系统论文集*. Vol. 4, No. 1 (2007): 137-144.
- Park, S. H., K.Y. Kim, 等. “与铁素体不锈钢表面皱折相关的微观结构和组织的变化.” *ICOTOM 13*, 韩国, 首尔 (2002): 1335.
- Park, S. H., K. Y. Kim, 等. “铁素体不锈钢微观结构和组织演变的研究,” *日本国际钢铁协会*. 42, No.1 (2002): 100.
- Park, S. H., K. Y. Kim, 等. “退火过程对430系列不锈钢微观结构和组织演变的影响.” *韩国金属和材料研究所期刊*. Vol.39, No. 8 (2001): 883.
- Park, S. H., K. Y. Kim, 等. “退火过程对 16%Cr 铁素体不锈钢微观结构和组织演变的影响.” *Rex & GG Aachen*, 德国 (2001): 1203.
- Park, S. H., K. Y. Kim, 等. “原始取向与奥氏体相对热轧铁素体不锈钢变形带和再结晶的影响.” *先进材料加工与制造国际会议 (THERMEC 2000)*, 美国, 拉斯维加斯 (2000): 163.
- Raabe, D. “Fe-11wt.% Cr 的实验研究和轧制织构模拟.” *材料科学与技术* No. 11 (1995): 985-993.
- Raabe, D. “铬含量对铁素体不锈钢轧制织构演变的影响.” *材料科学期刊*, No. 31 (1996): 3839-3845.
- Raabe, D. “不完全再结晶的冶金学理论与力学结果.” *铁与钢*, No. 120 (2000): 73-78.
- Raabe, D, and K. Lücke. “微粒物对铁素体不锈钢再结晶组织的影响.” *钢研究* No. 63 (1992): 457-464.
- Raabe, D, and K. Lücke. “铁素体不锈钢的组织.” *材料科学与技术*. No. 9 (1993): 302-312.
- Santacreu, P.-O., L. Bucher, 等. “汽车排气系统用不锈钢的热机械疲劳.” *La Revue de Métallurgie* No. 1, 巴黎 (Jan. 2006): 37-42.
- Santacreu, P.-O., O. Cleizergues, 等. “汽车排气歧管用不锈钢的设计.” *La Revue de Métallurgie* Nos. (冶金学杂志) 7-8, 巴黎 2004. 7-8: 615-620. Also: 日本汽车工程师协会 (JSAE) 论文 No. 20037127 (2003).

Schmitt, J.-H., F. Chassagne 等, “含铌铁素体不锈钢的最新发展趋势” 欧洲含铌材料的最新发展的会议纪要, 杜塞尔多夫 (2005.5.20): 137.

Sinclair, C. W., and J.-D. Mithieux, “铁素体不锈钢再结晶和机械性能之间的关系.” 第二届再结晶和晶粒长大国际会议纪要, 法国 Annecy, [2004.8.30-9.3]: 317.

Sinclair, C.W., J.-D. Mithieux, 等. “稳定的铁素体不锈钢的再结晶”, 冶金与材料学报 A, Vol. 36A (2005.11): 3205.

Van Hecke, B. “不锈钢的成形能力” 材料与应用丛书, Vol. 8, 欧洲 Inox (2006).

Toscan, F., Galerie, 等. “不锈钢中的氧化驱动力和铬扩散之间的关系.” 材料科学论坛 Vols. 461-464 (2004): 45-52. 详见网站 www.scientific.net.

Yazawa, Y., Y. Kato, 等. “汽车油箱用优良深冲性能的铁素体不锈钢的发展.” 汽车工程学报 Vol. 26 (2005): 59.

Yazawa, Y., M. Muraki, 等. “铁素体不锈钢中铬含量对 r 值和{111}晶面再结晶组织之间关系的影响.” 日本国际钢铁协会 Vol. 43, No. 10 (2003): 1647-1651.

Yazawa, Y., Y. Ozaki, 等. “通过{111}晶面再结晶组织控制而获得的深冲性能优良的铁素体不锈钢的发展.” 日本汽车工程师协会 (JSAE) 学报 No. 24 (2003): 483.



附录

ISSF 会员

企业会员

瓦尔布鲁纳钢公司
阿塞里诺克斯
阿谢西塔
爱知制钢公司
安赛乐-米塔尔
宝山钢铁股份有限公司不锈钢分公司
科涅特殊钢公司
哥伦布不锈钢有限公司
大同特殊钢
德国特殊钢公司
现代钢公司
Industeel
JFE 钢铁株式会社
印度 Jindal 不锈钢公司
第聂伯罗特殊钢厂
宁波宝新不锈钢有限公司
日本金属株式会社
日本金属工业株式会社
新日铁住金不锈钢株式会社 (NSSC)
日本冶金工业株式会社
日新制钢株式会社
北美不锈钢
奥托昆普公司
Panchmahal 钢铁有限公司 (PSL)
POSCO
POSCO 特殊钢有限公司
上海克虏伯不锈钢公司 (SKS)
斯洛文尼亚钢铁集团-SIJ
印度钢铁管理局公司 (SAIL)
住友金属工业公司
太原钢铁(集团)有限公司 (TISCO)
高砂铁工株式会社
唐荣铁工厂股份有限公司
泰诺不锈钢公司

蒂森克虏伯特尔尼特殊钢公司
蒂森克虏伯墨西哥不锈钢公司
蒂森克虏伯尼罗斯塔不锈钢公司
Ugine & ALZ
Ugitech S.A.
维拉杰集团
华新丽华股份有限公司
烨联钢铁股份有限公司 (YUSCO)
张家港浦项不锈钢有限公司 (ZPSS)

附属会员

澳大利亚不锈钢发展协会 (ASSDA)
英国不锈钢协会 (BSSA)
西班牙不锈钢发展协会
墨西哥国家不锈钢发展中心 (CENDI)
意大利不锈钢发展协会
德国高级钢铁联盟
欧洲不锈钢公司
欧洲钢铁联盟 EUROFER
法国不锈钢发展协会 (ID Inox)
德国高级不锈钢信息中心 (ISER)
印度不锈钢发展协会 (ISSDA)
日本不锈钢协会 (JSSA)
瑞典钢铁生产商协会
韩国钢铁协会 (KOSA)
新西兰不锈钢发展协会 (NZSSDA)
巴西不锈钢发展协会
南非不锈钢发展协会 (SASSDA)
特殊钢和合金钢用户与供应商协会 (USSA)
北美特殊钢工业 (SSINA)
中国特钢企业协会不锈钢分会 (CSSC)
瑞士不锈钢协会
中国台湾钢铁工业协会
泰国不锈钢发展协会 (TSSDA)
Union de Empresas Siderúrgicas (UNESID)

附录

致谢

ISSF 特别感谢为本刊撰写前言的 Friedriche Teroerde 先生 (ICDA 的), 而且也要感谢 Philippe Richard 先生 (法国阿塞勒-米塔尔公司的)。他在工作组中起到了很好的协调作用, 该工作组成员有: Jacques Charles (法国 Ugine & Alz 的), Peirteh Huang (中国台湾烨联钢铁股份有限公司的), Kwangyuk Kim (韩国 POSCO 的), Jochen Krautschick (德国蒂森克虏伯尼罗斯塔公司的), Juan Antonio Simon (西班牙阿塞里诺克斯的) 和 Hideaki Yamashita (日本 JFE)。同时还要感谢 Benoît Van Hecke (欧洲不锈钢协会, 比利时) 对本刊所做的审查, 感谢自由撰稿人、英文作者 Paul Snelgrove (法国巴黎) 为本刊前期准备工作所提供的无价帮助。

对于本刊的设计和制作者 de blauwe peer (比利时 Ghent)、封面设计 MBCOM (法国巴黎)、Stevens Creative 印刷厂 (比利时 Merelbeke) 所做的贡献表示感谢。

感谢中国特钢企业协会不锈钢分会和太原钢铁 (集团) 有限公司在翻译工作中所做的努力。

图片说明

ISSF 忠心地感谢为本刊提供图片的公司和个人。对于本刊所引用的图片的原始出处不详的情况, ISSF 对版权拥有者表示歉意。

封面: MBCOM, 法国巴黎; **p. 2-3:** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 4:** 哥伦布不锈钢公司, 南非; **p. 5:** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 7:** Lincat 有限公司, 英国, 林肯; **p. 8:** 中国 ISSF, 中国; **p. 9 (左上图):** 博施及西门子家用电器集团, 德国, 慕尼黑; **p. 9 (左下图):** 惠尔浦公司, 意大利, Cassinetta di Biandronno; **p. 9 (右图):** 赛博集团, 法国; Rumilly; **p. 10:** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 11 (左上图):** IKEA, 瑞典, Aelmhult; **p. 11 (左下图):** Yiu Heng 国际有限公司, 墨西哥; **p. 11 (右图):** Takara 标准企业, 日本; **p. 12 (上图):** 阿塞斯塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 12 (下图):** Tramontina, 巴西, 圣保罗; **p. 13 (左图):** Lincat 有限公司, 英国, 林肯; **p. 13 (右图):** 韩国钢铁工业协会, 韩国, 首尔; **p. 14:** POSCO, 韩国, 浦项; **p. 15 (左两图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 15 (右上图):** 烨联钢铁股份有限公司 (YUSCO), 中国,

台湾; **p. 15 (右下图):** 日本不锈钢协会 (JSSA), 日本, 东京; **p. 16 (左图):** 南非不锈钢发展协会, 南非约翰内斯堡; **p. 16 (右图):** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 17:** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 18 (左图):** Ugine & Alz (阿塞勒-米塔尔集团), 法国; **p. 18 (右上图):** Mac Brothers Catering Equipment, 南非, 开普敦; **p. 18 (右下图):** 意大利不锈钢发展协会和蒂森克虏伯特尼特特殊钢公司, 意大利; **p. 19:** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔), 巴西; **p. 20 (上图):** 博施及西门子家用电器有限公司, 德国, 慕尼黑; **p. 20 (下图):** 佛吉亚公司, 法国; Nanterre; **p. 21 (左):** Valtimet, 法国, 布洛涅-比扬古; **p. 21 (中图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 21 (右图):** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 22 (左图):** Sander Inox and Nucleo Inox, 巴西; **p. 22 (右图):** 意大利不锈钢协会, 意大利; **p. 23:** 博施及西门子家用电器有限公司, 德国, 慕尼黑; **p. 24 (左上图 & 右上图):** 日本不锈钢协会 (JSSA), 日本, 东京; **p. 24 (右下图):** 哥伦布不锈钢公司, 南非; **p. 25 (左图):** 韩国钢铁协会 (KOSA), 韩国, 首尔; **p. 25 (中上图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 25 (右上图):** 佛吉亚公司, 法国, Nanterre; **p. 26 (上图):** SEB 集团, 法国; Rumilly; **p. 26 (下图):** LG 电子, 韩国; **p. 27 (左图):** 哥伦布不锈钢公司, 南非; **p. 27 (右图):** 日本不锈钢协会, 日本 (JSSA), 东京; **p. 28 (左图):** 博施及西门子家用电器有限公司, 德国, 慕尼黑; **p. 28 (右图):** 韩国钢铁协会 (KOSA), 韩国, 首尔; **p. 29:** 太原钢铁 (集团) 有限公司, 中国, 太原; **p. 30 (上图):** 中国 ISSF, 中国; **p. 30 (下图):** 青岛海尔国际贸易有限公司, 中国; **p. 31 (左图):** Suntank, 南非, 比勒陀利亚; **p. 31 (右图):** 日本不锈钢协会 (JSSA), 日本, 东京; **p. 32:** POSCO, 韩国, 浦项; **p. 33 (全部):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 34 (左图):** 意大利不锈钢协会, 意大利, 米兰; **p. 34 (右上图):** 佛吉亚公司, 法国, Nanterre; **p. 34 (下图):** 所有4张图片, Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 35:** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 36 (上图):** 蒂森克虏伯尼罗斯塔公司, 德国, 克雷菲尔; **p. 36 (下图):** Macadams Baking Systems (Pty) Ltd, 南非, 开普敦; **p. 37 (左图):** 佛吉亚公司, 法国, Nanterre; **p. 37 (右图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 38 (左图):** 佛吉亚公司, 法国, Nanterre; **p. 38 (右图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 39 (左图):** Suntank, 南非, 比勒陀利亚; **p. 39 (右上图):** 阿谢西塔 (安赛乐-米塔尔集团), 巴西; **p. 39 (右下图):** Solaris Bus & Coach Co., 波兰; **p. 40 (左图):** Brandt Edelstahl Dach GmbH, 德国, 科隆; **p. 40 (右图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 41 (右上图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 41 (右下图):** 蒂森克虏伯尼罗斯塔公司, 德国; 克雷菲尔; **p. 42 (左上图):** Willem De Roover, 比利时, 根特; **p. 42 (左下图):** 佛吉尼亚公司, 法国, Nanterre; **p. 42 (右上图):** 意大利不锈钢协会, 意大利, 米兰; **p. 42 (右下图):** Ugine & Alz (安赛乐-米塔尔集团), 法国; **p. 43:** Hanjin 公司, 韩国; **p. 44 (上图):** SEB 集团, 法国, Rumilly; **p. 44 (下图):** Lincat 有限公司, 英国, 林肯; **p. 58:** 蒂森克虏伯尼罗斯塔公司, 德国; **p. 62:** Valtimet 公司, 法国, 布洛涅-比扬古市; **p. 63:** POSCO, 韩国, 浦项。

声明

我们尽一切努力来确保本刊的信息在技术上是准确无误的, 然而, 读者应该明白, 本刊有意仅为一般信息用途提供参考。由于使用本刊信息而造成的一切损失、损害或伤害, ISSF 会员、全体职工和顾问不承担任何责任。



conception couverture : M&COW 01 42 63 11 00



Contact details:
International Stainless Steel Forum (ISSF)
Rue Colonel Bourg 120 • 1140 Brussels • Belgium
T: +32 2 702 8900 • F: +32 2 702 8912 • E: info@issf.org
联系方式:
国际不锈钢论坛 (ISSF)
比利时布鲁塞尔市科勒奈勒街 120 号, 邮编1140
电话: +32 2 702 8900 传真: +32 2 702 8912 邮件: info@issf.org

