

不锈钢 及其应用

[日]桥本 政哲 著 周连在 赵文贤 译
孙丰收 陈承国 校



不 锈 钢 及 其 应 用

[日] 桥本 政哲 著
周连在 赵文贤 译
孙丰收 陈承国 校

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2010-1259 号

©2007 年 橋本 政哲著「現場で生かす金属材料シリーズ ステンレス」
株式会社 工業調査会

图书在版编目(CIP)数据

不锈钢及其应用/(日)橋本 政哲著;周连在,赵文贤译.
—北京:冶金工业出版社,2011.1
ISBN 978-7-5024-5371-8

I. ①不… II. ①桥… ②周… ③赵… III. ①不锈钢
IV. ①TG142.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 181148 号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 张媛媛 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5371-8

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011年1月第1版,2011年1月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32;9印张;1插页;242千字;272页

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

译校者的话

本书是2007年由日本(株式会社)工业调查会在日本出版的《现场实用金属材料丛书》之一,是《钛材料及其应用》和《铝材料及其应用》的姊妹篇。作者桥本政哲先生常年从事不锈钢技术的开发、生产、市场经营和质量管理工作。

本书内容共分8章:主要内容包括不锈钢的发展过程,不锈钢标准,不锈钢的实际应用,不锈钢的特性,不锈钢的制造方法,不锈钢的加工技术,使用时的注意事项及表面缺陷处理方法和地球环境对策。

本书介绍了日本不锈钢的发展历程、现状和对未来的展望。纵观日本不锈钢的现行标准、各领域的使用状况、所发生的质量事故以及环保对策,对我国的不锈钢技术的研发、品种的应变、市场的调节、原料的储备以及国家的安全等等,具有一定的参考和借鉴价值。

本书介绍了许多较少发表的技术资料,内容多源自作者的实践经验,并且密切结合生产实际,对我国从事不锈钢技术开发、市场开拓和营销、实际应用和制造加工等领域的科技人员,是一本具有很高实用价值的参考书。

本书的翻译由山东万丰煤化工设备制造有限公司组织筹划。翻译工作由周连在和赵文贤完成,孙丰收、陈承国校对。

北京有色金属研究总院的王桂生先生对本书的翻译和出版,做了大量的联络和指导工作,在此谨表谢意。

由于我们的水平有限,不妥之处,恳请读者批评指正。

山东万丰煤化工设备制造有限公司
高级工程师周连在、赵文贤、孙丰收、陈承国

2010年8月

前 言

不锈钢(stainless)的生产虽有很多年的历史,但与普通钢的生产规模相比较,仍处于品种多而产量少的状态,近年来使用范围有扩大的趋势。但到现在为止,钢铁企业中不锈钢仍属于经济上不太合算的品种。

作者于1973年就职于新日本制铁公司,并被分配到八幡制铁所厚板部工作,其间,除一年从事普通钢厚板的技术工作外,一直到2000年3月提前退休为止,大约25年的时间一直都在从事有关不锈钢的工作。在八幡制铁所从事不锈钢厚板工作,并总结了在户畑、八幡铁源公司负责炼钢、热轧的质量管理工作的工作经验,然后在公司负责不锈钢全部品种的质量管理、产品开发工作及规划工作。此时正值钢铁大调整时期,室兰制铁所停止了不锈钢生产,被合并归属八幡、光制铁所。有一段销售连续冷轧不锈钢板的工作经历,这种不锈钢板是用于汽车排气系统的。后来又负责光制铁所不锈钢质量管理工作的。这个时期发生过台风造成海水浸蚀灾害,使产品质量受到很大影响,为此作者又从事改善产品质量的工作,包括不锈钢线材在内。此间参与了松下电器产业公司洗衣机事业部开发的洗衣机不锈钢滚筒。同时还在大阪支店担任技术业务工作,接受了大阪拱顶房盖工程,从事不锈钢防振动钢板开发工作。在退休前的大约三年时间内,作者担任公司的不锈钢产品技术部的领导工作,从事全公司的新产品研发工作。还在不锈钢协会担任研究委员,对日本工业标准《JIS》进行了大量的细致的修订

工作,并在德国举行的国际不锈钢讨论会(ISSF)上发表了题为《日本不锈钢建筑材料技术发展趋势》的文章,归国途中参加了在瑞士举办的欧洲原子能委员会(CERN)进行粒子加速器用非磁性高强度不锈钢技术会议,并签订了大约2万吨(约40亿日元)的订货合同。

总之,作者担任了有关不锈钢的各种工作包括:负责产品开发、技术研究开发、质量管理、现场技术管理等,积累了大量工作经验。感谢25年来新日本制铁公司的“不锈钢”事业培育了我,在新日本制铁公司学到的“不锈钢产品化技术”对相关专业的技术人员会有所帮助。2004年4月公司成立了不锈钢咨询服务部,开展技术领域的各种专业指导工作。在推广“不锈钢绿色计划”中,建议人们使用不锈钢筷子,减少“一次性卫生木筷子”造成的垃圾污染。

为了满足不锈钢需求增长的目的,各公司都进行巨额投资,添置生产设备。为了满足供需平衡,需在行业中进行重新组合,如新日本制铁公司与住友金属公司两家的不锈钢部门合并,诞生了“新日铁住友不锈钢”公司。川崎制铁公司与NKK公司合并,成立JFE钢铁公司,不锈钢企业由七家精简成五家。西班牙的阿塞里诺克斯、韩国的POSCO、中国的太原钢铁公司,它们的不锈钢生产体制有了显著的加强,上述任何一家公司的生产规模都可以达到日本五个公司的全部产量。预计今后可能在使用廉价原材料,革新生产工艺等方面,将会展开世界性的竞争。

有缘得到JFE技术调查研究部(前JFE钢铁)莲野贞夫先生的评价:“桥本先生不锈钢一书是全面论述不锈钢之书”,并向工业调查会推荐。本书记载了我本人在不锈钢方面的学习、产品化、标准化工作以及应对各方面的挑战等的心得。期待它

对不锈钢相关人员有所帮助。在写作过程中,参考了已发表的许多著作、论文以及不锈钢协会和不锈钢企业的技术资料。在此,向不锈钢协会板仓孝明先生、加藤明彦先生为首的多位先生表示衷心地感谢,并对工业调查会森永喜司雄先生和井真纪先生给予的指导表示谢意。

桥本 政哲

2007 年 9 月

目 录

1 不锈钢的发展过程	1
1.1 不锈钢化经历	1
1.1.1 规程、法律与不锈钢化	1
1.1.2 耐腐蚀性与不锈钢化	3
1.1.3 创意性与不锈钢化	4
1.1.4 功能性与不锈钢化	5
1.2 不锈钢的竞争材料	7
1.2.1 不锈钢与其他材料的竞争	7
1.2.2 产品间竞争	13
1.3 环境变化与不锈钢化	16
1.3.1 从 300 系列向 400 系列钢种转换	16
1.3.2 从 300 系列向 400 系列转换的实例	21
1.3.3 在环境变化(钼原材料价高等)情况下,发展 400 系列钢种	24
1.4 今后不锈钢的发展	25
1.5 环境变化与今后重点工作	29
1.5.1 市场环境变化	29
1.5.2 生产环境变化	30
1.5.3 成本环境变化与工艺开发	31
2 不锈钢标准	34
2.1 标准种类	34
2.2 标准使用方法	36
2.2.1 化学成分与产品分析的允许偏差值	37
2.2.2 质量计算	39

2.2.3 腐蚀试验	41
2.3 标准钢种选择方法	44
2.4 标准成分与力学性能	47
2.4.1 奥氏体系化学成分	47
2.4.2 奥氏体系、铁素体系化学成分	50
2.4.3 铁素体系化学成分	50
2.4.4 马氏体系化学成分	52
2.4.5 析出硬化体系化学成分	52
2.4.6 奥氏体系力学性能(固溶处理状态)	53
2.4.7 奥氏体系、铁素体系力学性能(固溶处理 状态)	54
2.4.8 铁素体系力学性能(退火状态)	55
2.4.9 马氏体系力学性能(退火状态)	55
2.4.10 析出硬化体系力学性能	56
3 不锈钢的实际应用	58
3.1 家电领域	58
3.1.1 洗衣机水桶、洗涤干燥机	58
3.1.2 食用器皿和洗涤干燥机	60
3.1.3 电热水器	62
3.1.4 液晶电视框架	63
3.1.5 电话	64
3.1.6 电子零部件	66
3.1.7 硬盘	69
3.1.8 电池壳体	72
3.2 汽车领域	73
3.2.1 汽车排气系统材料	73
3.2.2 汽车装饰用板	77
3.2.3 摩托车制动器	79
3.3 建筑领域	80

3.3.1	室外装修	80
3.3.2	结构材料、器具	82
3.3.3	耐腐蚀屋顶	84
3.3.4	自动扶梯、电梯	87
3.4	业务用、家庭用机器领域	88
3.4.1	燃气灶具	88
3.4.2	暖气设备	90
3.4.3	配管、贮水箱	92
3.4.4	橱柜产品	95
3.4.5	营业用厨房	97
3.4.6	食用器皿类	99
3.5	产业机械领域	103
3.5.1	机械设备	103
3.5.2	原子能发电站	107
3.5.3	核融合反应堆	109
3.5.4	食品生产机械	111
3.6	车辆、船舶和宇航领域	114
3.6.1	车辆	114
3.6.2	化工材料贮运罐	117
3.6.3	液化天然气(LNG)装运船,液化天然气 基地	119
3.6.4	火箭	121
3.6.5	超导加速器	122
3.7	弹簧	123
4	不锈钢的特性	125
4.1	不锈钢	125
4.1.1	不锈钢的定义	125
4.1.2	不锈钢的分类	125
4.2	不锈钢的金相组织	126

4.2.1 Cr 系列	126
4.2.2 Cr-Ni 系列	127
4.3 不锈钢的物理性能	130
4.3.1 密度	130
4.3.2 导热	131
4.3.3 热膨胀	131
4.3.4 电阻率	132
4.3.5 其他物理性能	132
4.4 常温下不锈钢的力学性能	135
4.4.1 马氏体系列不锈钢	135
4.4.2 铁素体系列不锈钢	137
4.4.3 奥氏体系列不锈钢	137
4.5 不锈钢的高温特性	140
4.5.1 不锈钢的耐热性及耐氧化性	140
4.5.2 蠕变和疲劳	142
4.5.3 高温特性	143
4.6 不锈钢的低温特性	147
4.6.1 低温环境与使用材料	147
4.6.2 低温下的物理性能	148
4.6.3 低温特性	149
4.6.4 低温下与其他材料相比较	152
4.7 不锈钢的耐腐蚀性	152
4.7.1 腐蚀机理	152
4.7.2 不锈钢的钝化	153
4.7.3 腐蚀形态	158
4.7.4 局部腐蚀	158
4.7.5 整体腐蚀(全面腐蚀)	165
4.7.6 干腐蚀	168
4.7.7 其他腐蚀	171

5 不锈钢的制造方法	183
5.1 原料	183
5.1.1 铬(Cr)	183
5.1.2 镍(Ni)	185
5.2 炼钢	189
5.3 厚板生产工艺流程	194
5.4 热轧和冷轧	197
5.4.1 热轧	197
5.4.2 冷轧	200
5.5 棒材、线材和型材	204
5.5.1 棒材、线材	204
5.5.2 型材	205
5.6 不锈钢管	208
6 不锈钢的加工技术	213
6.1 剪切	213
6.1.1 纵剪切机组(slitter line)	213
6.1.2 横剪切机组(leveller line)	213
6.1.3 铡刀式剪切机(铡刀式剪床)	214
6.1.4 气体切割(气割)	214
6.1.5 激光切割和其他切割	215
6.2 焊接	216
6.2.1 药皮焊条电弧焊接	216
6.2.2 埋弧焊接	216
6.2.3 气体保护电弧焊接(TIG 焊接, MIG 焊接)	217
6.2.4 二氧化碳气体保护电弧焊接(MAG 焊接)	219
6.2.5 等离子焊接	219
6.2.6 电子束焊接	220
6.2.7 电阻焊接	220

6.2.8	激光焊接	221
6.2.9	钎焊	221
6.3	冲压、弯曲和连续冲裁加工	222
6.3.1	冲压加工	222
6.3.2	弯曲与连续冲裁	223
6.3.3	加工油、表面保护薄膜和其他润滑	225
6.4	切削加工	230
6.5	表面加工	231
6.6	抛光	235
6.7	表面处理	237
6.7.1	钝性处理	237
6.7.2	压花	238
6.7.3	镀层	239
6.7.4	其他表面处理	241
6.8	喷涂	241
6.8.1	彩色喷涂不锈钢	241
6.8.2	透明薄膜喷涂不锈钢	242
6.8.3	透明薄膜喷涂不锈钢的市场技术动向	244
6.8.4	特殊透明薄膜喷涂不锈钢	246
6.9	其他特殊加工	247
6.9.1	多孔板	247
6.9.2	网状板	248
6.9.3	抗菌不锈钢	248
6.9.4	不锈钢减振钢板	248
6.9.5	不锈钢复合钢板 (stainless Clad Sheet)	249
6.9.6	不锈钢网纹钢板	249
7	使用时的注意事项及表面缺陷处理方法	251
7.1	缺陷种类	251
7.1.1	不锈钢与锈蚀的产生	251

7.1.2 焊接火焰回火色调与耐腐蚀性	252
7.2 使用时的注意事项	253
7.2.1 室内使用	253
7.2.2 室外使用	253
7.2.3 不同加工方法的注意事项	254
7.3 缺陷的处理方法	255
7.3.1 锈蚀检出方法与应对措施	255
7.3.2 生产过程中产生的表面缺陷	257
7.3.3 针对鳞皮状缺陷的质量管理	259
7.3.4 其他表面瑕疵	261
7.3.5 表面瑕疵的允许范围	262
8 地球环境对策	263
8.1 地球环境与不锈钢加工	263
8.2 汽车领域废弃物的再利用	264
8.2.1 汽车废弃物再利用法规	264
8.2.2 汽车废弃物再利用事业概要	265
8.3 其他废弃物再利用	267
8.3.1 家电产品废弃物再利用法	267
8.3.2 不锈钢车辆的废弃物再利用	267
8.4 不锈钢边角余料碎屑等废弃物再利用现状	268
8.5 废弃物再利用的展望	270

1 不锈钢的发展过程

1.1 不锈钢化经历

1.1.1 规程、法律与不锈钢化

不锈钢由于其具备“意匠性”、“耐腐蚀性”和“功能性”而适用于许多领域。作为不锈钢发展的外部因素,主要有规程和法律。规程和法律推动了不锈钢化的发展,扩大了不锈钢成长的历史年轮。在电气领域中,电器制造行业取得了 ISO 14001(环境)系统的认证,对不锈钢化的影响作用很大。面对在冲压加工的油洗净工艺,使用破坏臭氧层的三氯乙烯、三氯乙烷等洗净液和不利于环境保护的电镀工艺,人们逐渐将使用钢板的表面处理改为使用不锈钢和润滑不锈钢等。

在汽车领域内,随着实行汽车尾气排放规定,不锈钢化亦在进展。1960 年在美国加利福尼亚州制定了“汽车污染防治法”,日本也在 1966 年实施了使用汽油作燃料汽车排放 CO 浓度的规定。规定中明确指出,在汽车尾气排气系统内必须装设具有触媒作用的净化装置。其中触媒转换器壳体用不锈钢制作,其载体是用陶瓷或不锈钢箔制作。其后,在 1989 年各家汽车生产厂开始对每个零部件进行保证制度,因此,广泛地推进了不锈钢化工作。将排放尾气的消声器的使用期改为 3 年或 60000km。同时修改汽车车检期限,由两年改为三年,尾气排放消声器由表面处理钢板改成不锈钢。以前使用的尾气排放消声器 1~2 年就腐蚀损坏,由于改成不锈钢耐用年限达到 3 年以上。欧美等国在汽车领域对使用石棉垫早有限制规定。对于在发动机汽缸上所使用的石棉垫金属化也开始进行研究,并已成功地使用 SUS301(18Cr-7Ni)不锈钢薄板作为主要材料。

为进一步贯彻汽车尾气排放规则,应以提高发动机燃烧温度为重点,将排气管分流管从铸件改换成不锈钢件,故发动机的排气系统零部件全部实现了不锈钢化。这种行动亦扩展到摩托车行业,根据排放规定,其排气消声器从表面处理钢板改换成不锈钢件。在 2001 年制定了汽车 NO_x 修订法($\text{NO}_x \cdot \text{PM}$ 法)。根据柴油机汽车颗粒状物质排放规则(东京、其他),必须装设 DPF(即柴油发动机汽车颗粒状物质排放过滤器),这个 DPF 的零部件由不锈钢制造而成。

在建筑领域中使用的房顶材料,不锈钢与使用表面处理钢板加上涂装相比,其保证年限都存在竞争,大型建筑物一般保证期为 20 年。还有因为在公共事业方面,由于削减了保养维修费用,对“免维修”的要求更加迫切,所以,在大型建筑物房顶以及外部装修方面开展不锈钢化,出现大量使用氟涂装的不锈钢和高级耐腐蚀不锈钢的倾向。

在天然气和石油机器领域中,从热水器喷嘴的 NO_x 规定出发,燃气器具制造厂家开发了燃烧效率高的喷嘴产品,但同时由于中高层经济收入人群所居住的公寓楼房室外设置增加,从耐腐蚀观点来看,也要改换成不锈钢制的燃烧器喷嘴。在上水道(自来水)领域,由于在东京要求室内配管采用不锈钢制造,所以自来水管道的不锈钢化也取得很大进展。由于对不锈钢柔性管采用包覆聚氯乙烯,室内燃气配管亦在不锈钢化当中。

在食品机械以及食品领域,1995 年修订了食品卫生法,作为“综合卫生管理制造过程”引进 HACCP(Hazard Analysis Critical Control Points)的认证制度,从卫生管理上的洗净性与清洁性开始到工厂全部不锈钢化的公司大为增加,食品机械、食品工厂的地面等很多地方都使用了不锈钢。

在船舶领域,1982 年针对石油、天然气运输船,国际海运组织 IMO(International Maritime Organization)制定了集装箱和贮罐标准。应对标准的要求:从耐腐蚀性能优势,集装箱(容器)多样化和贮罐便于清扫等,化工石油天然气的大型国际航行船舶由普通

钢加镀层转变到用不锈钢制造。此动向也影响到日本的内河航运船舶,最近新建的石油化工天然气运输船全部实行了不锈钢化。

1.1.2 耐腐蚀性与不锈钢化

耐腐蚀性是不锈钢最优良的特性,使得它在各领域中都促进了不锈钢化,如电热水器蓄水罐由搪瓷改成不锈钢。初期所使用的不锈钢 SUS 304 (18Cr - 8Ni) 因为应力腐蚀而曾产生过破裂事故。对此采取措施开发了 SUS 444 (19Cr - 2Mo - Ti, Nb - LC), 由于它具有优越的耐腐蚀性能,而被应用于许多方面。清洗餐具所使用的干燥机,利用特殊洗涤剂洗净以后,还需要在约 90℃ 下进行干燥,因工况环境严格,从耐腐蚀要求,内箱需要使用不锈钢,外部装饰从清洁性考虑亦不锈钢化了。小型液晶电子产品壳体虽然使用表面处理钢板,但个人用的电脑、电视机等因为趋向大型化,为了避免材料端面产生锈蚀,采用不锈钢已成定势。

汽车排气系统零部件材料,按法律规定已经不锈钢化了,其理由就是它比表面处理钢板具有优越的耐腐蚀性。汽车司乘人员使用的安全气囊的气体发生装置,从强度和耐腐蚀性考虑,要使用不锈钢,还有汽车用天线从很早以前就从耐腐蚀考虑不锈钢化了。

在建筑领域内,海岸附近的大型建筑物屋顶材料,因为要求高耐腐蚀性,所以使用 SUS445J1 (22Cr - 1Mo - LC)、SUS445J2 (22Cr - 2Mo - LC)、SUS447J1 (30Cr - 2Mo - LC)、SUS312L (20Cr - 18Ni - 6Mo - LC) 材料。还有作为建筑金属器具的补强器件(例如木材棱角部保护板等)原来主要是采用表面处理钢板,自从发生大阪神户大地震以后,从耐腐蚀性考虑,也朝不锈钢方面进展。在高速公路等隧道内部的装修板,为了应对在冬季汽车使用防冻剂而造成的腐蚀,所以使用不锈钢加涂装。

燃气器具当中的热水器喷嘴按规程和法律已经不锈钢化了,最基本的是对其耐腐蚀性的依赖。还有储水槽大多数也使用不锈钢。在自来水中因多含有氯,所以在气相和液相的分界部分,因氯浓化而被腐蚀,对此则大多数都采用耐腐蚀性优越的不锈钢。