

特殊钢丛书

不锈钢

陆世英 张廷凯 康喜范 等编著
杨长强 王 熙

原子能出版社

7.9-4000
204-2
414618

特殊钢丛书

不 锈 钢

陆世英 张廷凯 康喜范 等编著
杨长强 王 熙



00414618

原子能出版社

北 京



PDG

(京) 新登字 077 号

内 容 简 介

《不锈钢》是由中国金属学会特殊钢专业学会组织编写的《特殊钢丛书》之一,是一本全面介绍不锈钢专业技术知识的实用参考书。通过本书可以了解不锈钢的基本理论知识,熟悉我国各类不锈钢钢号、化学成分、组织与性能,以及各种技术数据;掌握不锈钢冶炼、冷热加工、热处理和焊接等工艺特性;可在各种腐蚀环境中合理选材和正确用材。书后列有国内外不锈钢钢号对照。本书可供冶金、化工、石油、机械、原子能、航天、航空、纺织和医药等工业部门的科技人员和有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

不锈钢/陆世英等编著. — 北京: 原子能出版社, 1995.7
ISBN 7-5022-1369-4

I. 不… II. 陆… III. 不锈钢—概论 IV. TG142

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 06637 号



原子能出版社出版发行

责任编辑: 杨 姝

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

北京昌平百善印刷厂印刷 新华书店经销

开本: 850×1168mm 1/32 印张 19 字数 490 千字

1995 年 9 月北京第 1 版 1998 年 11 月北京第 2 次印刷

印数: 2001 ~ 3000

定价: 47.50 元

《特殊钢丛书》编辑工作委员会

(按姓氏笔划为序)

主任委员 刘嘉禾 杨 栋

委 员 马绍弥 关玉龙 刘福魁 那宝魁
杨昌乐 范小媛 林慧国 侯树庭

《不锈钢》卷主编 陆世英

《不锈钢》编辑委员会

主任委员

姚国熙

副主任委员

陆世英 (主编)

委 员

靳瑞生 史荣贵

康喜范 佟荣贵 兰德年

田晴文 张继猛 伍玉珍

吴有彩 杨兆斌 朱 诚

吴世中 沈国雄 赵 朴

序

特殊钢是钢铁工业的一个重要领域。特殊钢的品种繁多，性能各异，质量要求高，应用范围广，从经济建设、国防建设到日常生活用品都与特殊钢有密切关系，因而通常把特殊钢品种、质量、产量作为衡量一个国家钢铁工业科学技术和工业化水平的重要尺度。

当前我国的四化建设和改革开放正向深广方向发展，广大职工积极要求掌握科学技术专业知识。在这样的形势下，中国金属学会特殊钢专业学会发起并组织编写一套具有自己特色的《特殊钢丛书》，是有时代意义的。

本套丛书将分卷撰写，陆续出版。由中国金属学会特殊钢专业学会及其 15 个专业学术委员会组织国内冶金与材料界的知名专家教授参加编写这套《特殊钢丛书》，因此具有一定的权威性。编写这套丛书是为了介绍中国特殊钢工业的发展情况和科学研究成果以及国外在这方面的进展情况，总结和整理国内老一辈专家们的丰富学识和实践经验。这套《特殊钢丛书》将重点介绍特殊钢的现代生产工艺技术、特殊钢各大钢类钢种的性能特点和应用指南，为特殊钢生产、科研和使用部门的科技人员在职学习提供素材，为有关大专院校师生提供教学参考。

组织编写特殊钢方面的系列图书，在国内尚属首次，在国外也不多见，难免存在疏漏和不足之处，欢迎指正。期望这套《特殊钢丛书》能在普及提高科学知识、合理生产和选择使用钢材方面发挥积极作用。

《特殊钢丛书》编委会

1995 年 4 月

前 言

不锈钢自本世纪初问世，到现在已有 80 年的历史。不锈钢的发明是世界冶金史上的一项重大成就；不锈钢的生产为近代工业的发展和科技进步奠定了重要的物质技术基础。它在发展过程中逐步形成了马氏体不锈钢（包括沉淀硬化不锈钢）、铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢和奥氏体 + 铁素体双相不锈钢等四大类。目前，世界上不锈钢年产量已近 1150 万吨，约占全世界钢产量的 1.5%。

中国不锈钢的科研和大量生产以及广泛应用已有 40 年以上的历史，不锈钢年产量（粗钢）最高已近 40 万吨¹，每年还大量进口不锈钢材。据统计，连同国外进口的数量在内，我国每年不锈钢消耗量（折算为粗钢）约占我国钢年产量的 0.7%~0.8%。由于不锈钢钢号多，品种、规格齐全，性能适应性广泛，因而不锈钢的应用范围极广。主要用于化工、石油、湿法冶金、航天、航空、核工业、交通运输、轻工业、纺织、电子等工业部门中，同时也大量用于日常生活。不锈钢虽然主要是作为耐蚀材料，但也可作为耐热材料、低温材料、无磁材料、耐磨材料和功能材料等。

尽管我国不锈钢的科研、生产和应用，几十年来获得了迅速发展，但截至目前还没有出版一本既结合我国不锈钢科研、生产和使用的实际，又吸收国外不锈钢领域的最新发展成果，全面介绍不锈钢专业技术知识方面的书籍。本书的出版，就是为了使不锈钢生产和使用部门以及有关科技人员能全面了解不锈钢的基本理论和知识，熟悉我国所研制、生产和使用的以及自国外引进

¹ 不包括中国台湾。

的用于重要装备的各类不锈钢的钢号、化学成分、显微组织和性能，并掌握不锈钢基本的冶炼、加工、热处理和焊接特点，同时能在腐蚀环境中较正确选择和合理使用各种类型的不锈钢。

本书共分7章。第1、5、7章和第4章4.2节由陆世英执笔；第2章由康喜范执笔；第3章由杨长强执笔；第4章由张廷凯执笔；第6章中不锈钢的冶炼、轧制、退火工艺各节由王熙等执笔，不锈钢的焊接特性一节由韩怀月执笔。全书最后由陆世英进行了必要的补充和修改。

本书写作完成历时三年。在此过程中得到了《不锈钢》编辑委员会和与我们在不锈钢领域内长期共同工作的许多同事的支持和帮助；荣凡女士协助整理了书中第2~5章中几十个不锈钢钢号的有关资料；太原钢铁公司姚国熙副总工程师对本书第6章中不锈钢生产特点各节进行了审阅；中国金属学会特殊钢专业学会刘嘉禾理事长、杨栋副理事长等对本书进行了审阅并提出了宝贵意见；特殊钢专业学会秘书长林慧国以及祖荣祥、于亚丽、罗金德等同志又为本书的编辑出版给予了帮助，在此一并致谢。

由于作者水平所限，加之时间有限，书中错误和不当之处，希读者指正。同时也欢迎不锈钢科研、生产和使用部门在遇到疑难问题时能与作者联系，以便共同探讨解决的途径。

编著者

1994年12月于钢铁研究总院

目 录

前 言

第1章 不锈钢的发展和分类 1

1.1 国外不锈钢发展简史 1

1.2 我国不锈钢的发展和现状 5

1.3 不锈钢的涵义和分类 8

参考文献 9

第2章 马氏体不锈钢 10

2.1 马氏体铬不锈钢的相图和相 10

2.2 合金元素对马氏体铬不锈钢组织和性能的影响 15

2.2.1 铬的影响 15

2.2.2 碳的影响 18

2.2.3 钼的影响 19

2.3 马氏体铬镍不锈钢的相图和相 19

2.4 合金元素对马氏体铬镍不锈钢组织和性能的影响 27

2.4.1 镍的影响 27

2.4.2 钼的影响 33

2.4.3 铝的影响 36

2.4.4 铜的影响 36

2.4.5 钴的影响 36

2.4.6 碳和氮的影响 39

2.4.7 钛的影响 39

2.5 常用马氏体不锈钢的钢号、化学成分和性能特点 41

2.5.1 Cr13型 48

2.5.2 9Cr18 48

2.5.3 1Cr17Ni2 51

2.5.4 0Cr12Ni5Ti 53

2.5.5	00Cr13Ni5Mo	56
2.5.6	0Cr17Ni7Al 和 0Cr15Ni7Mo2Al	58
2.5.7	0Cr17Ni4Cu4Nb	61
2.5.8	0Cr15Ni5Cu3Nb	64
2.5.9	0Cr16Ni6MoCuNb	67
2.5.10	0Cr13Ni8Mo2Al	70
2.5.11	00Cr12Ni10AlTi	73
参考文献		76
第 3 章 铁素体不锈钢		78
3.1	铁素体不锈钢的相图和相	78
3.1.1	Fe—Cr 二元合金的相图	78
3.1.2	碳、氮等对 Fe—Cr 相图的影响	79
3.1.3	铁素体不锈钢中的相	79
3.2	合金元素对铁素体不锈钢组织和性能的影响	87
3.2.1	铬的影响	88
3.2.2	钼的影响	95
3.2.3	碳和氮的影响	102
3.2.4	镍的影响	107
3.2.5	钛和铌的影响	111
3.2.6	其他元素的影响	116
3.3	铁素体不锈钢的成型性与皱折	119
3.4	常用铁素体不锈钢的钢号、化学成分和性能特点	122
3.4.1	0Cr13(AISI 405)	122
3.4.2	1Cr17, 1Cr17Ti, 0Cr17Ti	124
3.4.3	00Cr17Ti	128
3.4.4	1Cr17Mo2Ti	130
3.4.5	1Cr25Ti	132
3.4.6	00Cr18Mo2Ti 和高纯 Cr18Mo2(Ti)	134
3.4.7	高纯 Cr26Mo1(00Cr27Mo)	140
3.4.8	1Cr28	145

3.4.9 00Cr25Ni4Mo4Ti(25-4-4)	147
3.4.10 高纯 Cr30Mo2(00Cr30Mo2)	151
3.4.11 00Cr29Mo4Ni2(29-4-2)	155
参考文献	160
第4章 奥氏体不锈钢	161
4.1 奥氏体不锈钢中的相	161
4.1.1 铁素体相的形成	162
4.1.2 马氏体转变	166
4.1.3 碳化物(及氮化物)沉淀	171
4.1.4 金属间相的形成	179
4.2 合金元素对奥氏体不锈钢组织和性能的影响	183
4.2.1 碳的影响	183
4.2.2 铬的影响	185
4.2.3 镍的影响	190
4.2.4 钼的影响	198
4.2.5 氮的影响	200
4.2.6 铜的影响	206
4.2.7 硅的影响	212
4.2.8 锰的影响	216
4.2.9 钛和铌的影响	221
4.2.10 硫的影响	224
4.2.11 磷的影响	226
4.2.12 硼的影响	228
4.2.13 稀土元素的影响	229
4.3 常用奥氏体不锈钢的钢号、化学成分和性能特点	232
4.3.1 1Cr17Ni7	232
4.3.2 2Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 0Cr18Ni9	234
4.3.3 1Cr18Ni9Ti, 0Cr18Ni9Ti, 00Cr18Ni10	238
4.3.4 0Cr18Ni11Nb	243
4.3.5 1Cr18Ni12Mo2Ti, 0Cr18Ni12Mo2Ti, 00Cr17Ni14Mo2	246

4.3.6	1Cr18Ni12Mo3Ti, 0Cr18Ni12Mo3Ti, 00Cr19Ni13Mo3	250
4.3.7	0Cr19Ni9N, 00Cr18Ni10N, 0Cr17Ni12Mo2N 和 00Cr17Ni13Mo2N	253
4.3.8	00Cr18Ni14Mo2Cu2	256
4.3.9	0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti	259
4.3.10	0Cr18Mn13Ni3N	260
4.3.11	1Cr18Mn8Ni5N	263
4.3.12	00Cr22Ni13Mn5Mo2N	265
4.3.13	00Cr18Ni15Si4(Nb)	269
4.3.14	1Cr18Ni12和0Cr18Ni9Cu3	271
4.3.15	00Cr25Ni20(Nb)	275
4.3.16	00Cr25Ni22Mo2N	278
4.3.17	00Cr18Ni18Mo5(N)	281
4.3.18	00Cr17Ni17Mo7Cu2	285
4.3.19	00Cr20Ni25Mo4.5Cu	288
4.3.20	00Cr20Ni18Mo6CuN	292
4.3.21	00Cr27Ni31Mo3Cu	298
4.3.22	00Cr20Ni29Mo3Cu4Nb	304
4.3.23	0Cr12Ni25Mo3Cu3Si2Nb	307

参考文献	310
------------	-----

第5章 奥氏体 + 铁素体双相不锈钢 312

5.1 铬镍双相不锈钢中的相	314
5.1.1 二次奥氏体 (γ_2)	315
5.1.2 碳化物	316
5.1.3 金属间相	318
5.1.4 马氏体相	319
5.2 合金元素对铬镍双相不锈钢组织和性能的影响	321
5.2.1 镍的影响	321
5.2.2 氮的影响	324
5.2.3 锰的影响	327

5.2.4	铜的影响	329
5.2.5	铬的影响	330
5.2.6	钼的影响	331
5.2.7	硅的影响	334
5.2.8	钨的影响	334
5.2.9	合金元素对相比例的影响	336
5.3	常用双相不锈钢的钢号、化学成分和性能特点	348
5.3.1	1Cr18Mn10Ni5Mo3N	348
5.3.2	0Cr17Mn14Mo2N(A4)	350
5.3.3	1Cr21Ni5Ti, 0Cr21Ni5Ti	356
5.3.4	1Cr18Ni11Si4AlTi	359
5.3.5	00Cr18Ni5Mo3Si2	362
5.3.6	00Cr18Ni6Mo3Si2Nb	368
5.3.7	00Cr26Ni6Ti	373
5.3.8	00Cr26Ni7Mo2Ti	377
5.3.9	00Cr22Ni5Mo3N	380
5.3.10	00Cr25Ni6Mo3N	385
5.3.11	00Cr25Ni7Mo3WCuN	389
5.3.12	0Cr25Ni6Mo3CuN	393
	参考文献	395
第6章	不锈钢的冶炼、轧制、退火工艺及焊接特性	397
6.1	不锈钢的冶炼和浇铸	397
6.1.1	不锈钢炼钢工艺的基本特点	397
6.1.2	不锈钢的冶炼方法	401
6.1.3	不锈钢的浇铸方法	420
6.1.4	各类不锈钢的炼钢工艺特性	434
6.2	不锈钢板带的热轧	439
6.2.1	不锈钢热轧板卷生产工艺特性	440
6.2.2	不锈钢热轧中厚板的生产工艺特性	449
6.3	不锈钢板带的冷轧	452

6.3.1	不锈钢冷轧板带的生产工艺特性	452
6.3.2	不锈钢冷轧的工艺技术	454
6.3.3	冷轧不锈钢生产过程中的带钢焊接	458
6.3.4	冷轧不锈钢的酸洗	461
6.3.5	冷轧带钢的修磨	467
6.3.6	冷轧不锈钢的平整(调质轧制)	472
6.3.7	冷轧不锈钢的精整	476
6.3.8	冷轧不锈钢的检查和分类	477
6.4	不锈钢板带的退火	479
6.4.1	不锈钢板带的退火目的	479
6.4.2	不锈钢板带的退火设备和退火条件	480
6.4.3	不锈钢板带的退火工艺	488
6.5	不锈钢的焊接特性	492
6.5.1	不锈钢的物理性能对焊接性的影响	492
6.5.2	焊接热过程及焊接接头的腐蚀性	494
6.5.3	奥氏体不锈钢的焊接热裂纹倾向	497
6.5.4	铁素体不锈钢焊接接头的晶粒长大及脆化	503
6.5.5	马氏体不锈钢的淬硬性和焊接冷裂纹	505
6.5.6	双相不锈钢焊接时 α 、 γ 相比例的控制	511
参考文献		515
第7章 在腐蚀环境中不锈钢的合理选用		517
7.1	腐蚀的涵义和分类	517
7.2	不锈钢选用需要考虑的因素	518
7.2.1	耐蚀性能	518
7.2.2	力学性能和物理性能	520
7.2.3	工艺性能	520
7.2.4	资源、价格和供应情况	521
7.3	在一般腐蚀环境中不锈钢的合理选用	522
7.3.1	大气环境中的选用	522
7.3.2	水介质中的选用	524

7.3.3	硝酸介质中的选用	526
7.3.4	硫酸介质中的选用	529
7.3.5	磷酸介质中的选用	532
7.3.6	醋酸、甲酸及其混酸介质中的选用	537
7.3.7	盐酸介质中的选用	540
7.3.8	氢氟酸介质中的选用	541
7.3.9	烧碱介质中的选用	542
7.3.10	尿素甲铵液介质中的选用	544
7.4	在局部腐蚀环境中不锈钢的合理选用	549
7.4.1	晶间腐蚀及钢的选用	549
7.4.2	刀状腐蚀及钢的选用	561
7.4.3	点腐蚀及钢的选用	563
7.4.4	缝隙腐蚀及钢的选用	568
7.4.5	应力腐蚀及钢的选用	570
7.4.6	腐蚀疲劳及钢的选用	580
参考文献		583
附 录		584
附表 1	国内外不锈钢标准钢号对照表	584
附表 2	国内已应用的不锈钢非标准钢号与国外钢号对照表	591

第1章 不锈钢的发展和分类

不锈钢具有不锈和耐蚀特性并与其他许多优良性能，在各工业部门以及日常生活中，已获得了广泛而大量应用。

不锈钢的不锈性和耐蚀性是相对的。大量试验表明，钢在大气、水等弱介质中和在硝酸等氧化性介质中，其耐蚀性随钢中铬含量的提高而增加，当铬含量达到某一数值时，钢的耐蚀性发生突变——从易生锈到不生锈，从不耐蚀到耐腐蚀。研究进一步表明，引起耐蚀性发生突变的铬含量，则因腐蚀环境和钢中其他元素的不同而有所不同；不锈钢的不锈耐蚀性主要是由于钢的表面上富铬氧化膜（钝化膜）的形成。图1-1和图1-2分别为钢在各种大气和稀硝酸中的试验结果。可以看到，当铬含量 $\geq 12\%$ 后才使钢具有不锈性，因此，不锈钢的铬含量一般均在 12% 以上。这是这类钢的一个共同特点。

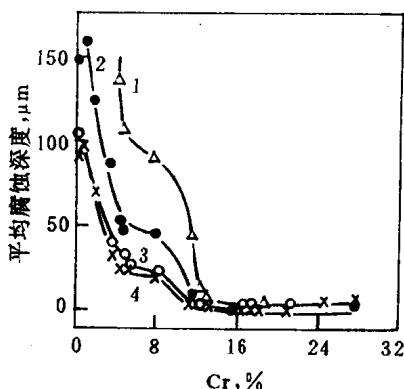


图1-1 钢中Cr含量对耐蚀性的影响

1—A区域，海洋大气；2—B区域，海洋大气；3—一般大气；4—工业大气

国内外都曾试图开发节Cr和无Cr的不锈钢，但迄今为止除低温、无磁和耐热等用途外，真正用于不锈耐蚀领域尚未获得完全成功。以Al代Cr的尝试，虽然得到了个别无Cr钢种且具有一定的耐介质腐蚀性能，但它们的工艺性能和使用性能较差，且与代用的Cr系和Cr-Ni系不锈钢相比，其成本并不便宜，因而无法与大量生产的现有不锈钢相抗衡。

以Mo, Si, Cu, V, N等代Cr的研究，也还没有取得有成效的进展。

1.1 国外不锈钢发展简史

不锈钢的发明是世界冶金史上的一项重大成就。20世纪初,吉耶(L. B. Guillet)于1904~1906年和波特万(A. M. Portevin)于1909~1911年在法国;吉森(W. Giesen)于1907~1909年在英国分别发现了Fe-Cr和Fe-Cr-Ni合金的耐腐蚀性能。蒙纳尔茨(P. Monnartz)于1908~1911年在德国提出了不锈钢和钝化理论的许多观点。工业用不锈钢的发明者有:布里尔利(H. Brearly)

1912~1913年在英国开发了含Cr 12%~13%的马氏体不锈钢;丹齐曾(C. Dantsizen)1911~1914年在美国开发了含Cr 14%~16%,C 0.07%~0.15%的铁素体不锈钢;毛雷尔(E. Maurer)和施特劳斯(B. Strauss)1912~1914年在德国开发了含C<1%,Cr 15%~40%,Ni<20%的奥氏体不锈钢。1929年,施特劳斯(B. Strauss)取得了低碳18-8(Cr~18%,Ni~8%)不锈钢的专利权。为了解决18-8钢的敏化态晶间腐蚀,1931年德国的霍德鲁特(E. Houdreuot)发明了含Ti的18-8不锈钢(相当于现在的1Cr18Ni9Ti或AISI 321)。几乎与此同时,在法国的Unieux实验室发现了奥氏体不锈钢中含有铁素体时,钢的耐晶间腐蚀性能会得到明显改善,从而开发了 $\gamma+\alpha$ 双相不锈钢。1946年,美国的史密斯埃塔尔(R. Smithetal)研制了马氏体沉淀硬化型不锈钢17-4PH;随后既具有高强度又可进行冷加工成形的半奥氏体沉淀硬化不锈钢17-7PH和PH15-7Mo等相继问世。至此,不锈钢家族中的主要钢类,即马氏体、铁素体、奥氏

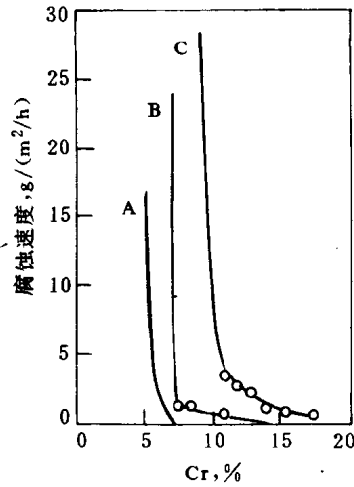


图 1-2 不同 Cr 含量的钢在稀硝酸(32%)中的耐蚀性
A-15℃; B-80℃; C-沸腾