

不锈钢手册

STAINLESS
STEEL
304
316

机械工业出版社

不 锈 钢 手 册

〔美〕 唐纳德 皮克纳 主编
I. M. 伯恩斯坦

顾守仁 周有德 等译

唐祥云 审校



机 械 工 业 出 版 社

本书系根据美国唐纳德·皮克纳 (Donald Peckner) 和 I. M. 伯恩斯坦 (I. M. Bernstein) 主编的《不锈钢手册》(1977年版) 译出。原书从理论到实践, 系统全面地介绍了大量不锈钢的原始资料、图表和数据, 会使人们耳目为之一新。

该书对不锈钢冶金学各方面进行了较全面的论述。全书共分六篇48章。除了提供各类不锈钢有关冶金、加工、成分、组织、结构、材料性能和材料应用外, 还对其冶金学现象的实质进行了有一定深度的论述, 并提供了有关的参考文献。书末还有两个附录介绍了世界各国的标准及专利, 并附有索引可供读者查阅。

本书主要目的是为从事不锈钢生产、应用和研究各方面人员提供必要的基础知识和数据, 也可作为大专院校专业学生学习不锈钢的重要参考书。

HANDBOOK OF STAINLESS STEELS

DONALD PECKNER

I. M. BERNSTEIN

Mc Graw-Hill Book Company

USA 1977

* * *

不锈钢手册

[美] 唐纳德·皮克纳 主编
I. M. 伯恩斯坦

顾守仁 周有德 等译

唐祥云 审校

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $50^{1/4}$ · 插页 2 · 字数 1318 千字

1987 年 3 月北京第一版 · 1987 年 3 月北京第一次印刷

印数 0.001—4,520 · 定价 14.00 元

*

统一书号: 15033·6330

译 者 的 话

不锈钢材料是近代工业的一种重要金属材料。它在国民经济的各个领域起着相当重要的作用。由于不锈钢具有独特和优异的性能，使它的应用和研究工作日益广泛深入。近年来，国内外正在不断发展不锈钢新品种及开拓新的应用范围；但到目前为止，国内尚无一本较系统全面介绍不锈钢材料的工具性图书。美国学者 Donald Peckner 和 I. M. Bernstein 主编的《不锈钢手册》(Handbook of Stainless Steels) 一书，从理论到实践，系统全面地介绍了大量不锈钢的原始资料、图表和数据，使人们耳目为之一新。国内已有不少工厂、科研单位和高等院校的有关科技和教学人员，阅读和使用过这本手册的英文版，并迫切希望能将其译成中文；为此，我们组织翻译本手册，供从事不锈钢材料教学、科研及生产部门的科技人员参考，以满足我国四化建设的需要。

本手册的主编是国际知名的美国学者 Donald Peckner 和 I. M. Bernstein 博士，参加编写的还有美国、法国、加拿大、瑞典的有关专家，学者约五十多位。本手册内容具有一定的深度，选材新颖，资料丰富，简明易懂，且理论与实际应用并重。

(对于冶金工作者，本手册提供了合金组织、合金元素、冶金反应与性能之间的关系等方面的理论分析和最新原始资料；对于设计工作者，借助本手册，可选择并确定各种不锈钢的结构性能和加工性能。

本手册共分六篇：第一篇是不锈钢冶金学的综合论述；第二篇对变形和铸造不锈钢的冶金问题作了详细的分析，从而引出了“显微复相不锈钢”这一新型结构合金；第三篇是关于腐蚀理论和实践方面的论述，为读者展示如何在特殊条件下，选用不锈钢材料的原则和预见；第四篇在很宽的温度和组织范围内对合金的

物理和机械性能进行了评述；第五篇是不锈钢的制造工艺和设计实践，为实际工作者提供了许多有用的工艺方法和设计参数；第六篇广泛讨论了不锈钢在应用领域方面的问题，这些领域标志着不锈钢在应用方面最先进的技术水平。本手册书末还有两个附录，分别介绍了世界各国生产不锈钢的标准及专利，并附有索引可供读者查阅。

本手册参加翻译的同志及分工如下：顾守仁（原序及1~3章），沈万慈（4，15，18章），梁开明（5~8章），李升凡（9~13章），姜忠良（14章），刘秀沅（16，17章），丁孝模（19~21章），张蔼玲（22~24，27~30及33~35章），方淑卿（25~26章）及周有德（31~32及36~48章）。全书由唐祥云教授审校。

由于译者的水平有限，翻译中难免存在错误和不当之处，恳切希望读者给予批评指正。

译 者 1984年12月

前 言

由于不锈钢材料具有优异的耐蚀性、优越的成型性。赏心悦目的外观以及很宽的强度范围等吸引人的综合性能，所以不锈钢的工业前景持续地扩大。人们不断地介绍新型不锈钢和不锈钢的新应用。然而，令人意外的是至今仍没有一本简明而概括的关于变形或铸造不锈钢的英文书籍。1951年出版的 *Money penny* 的杰出著作，现在已经绝版。而正在研究不锈钢有关问题的任何一个人，为了获得某些比最简单的数据稍多一点的资料，就必须去翻阅整书架的有关书籍。

编者相信这本综合手册能满足下述要求：

1. 对冶金工作者来说，本手册提供了合金组织、合金元素的影响、冶金反应及组织与性能之间的关系等方面的最新原始资料。

2. 设计工程师借助于本手册的帮助可以确定各种不锈钢的性能和加工性。由于本手册中各部分的内容既有一定的深度又简明易懂，所以即使设计工程师的冶金基础知识有限，他们还是可以做出合适的选择。

3. 本手册可以作为一部关于性能、腐蚀、热处理、成分等各类资料的简便、快速的参考资料。还从来没有过在一本书里可以查到如此之多的数据。

这本手册由于资料的多样性，故能用于技术界的广阔领域。无论是关于熔炼实践的广泛评论，还是关于沉淀硬化类不锈钢的深入分析，每个这样的独特要求在本手册中都会得到满足。

本手册共分六篇。

第一篇为不锈钢冶金学的综合论述。这是用来列出第二篇中要更加详细讨论的学科内容。第二篇对变形和铸造不锈钢的冶金学作详细的论述。在第二篇中编入了比较新的一组合金即“显

微复相不锈钢”，使读者对这一重要结构合金类型和它们的潜在使用领域有一个了解。最后以各种合金元素对组织和性能的影响来结束冶金学这一部分。

第三篇是若干关于腐蚀的理论与实践方面的综合性论述。这一普遍存在的问题是不锈钢发展的关键。这篇中的许多章节不仅向读者提供选择使用于特殊介质下的材料的原则，而且也向读者提供了能够确定预计在未来要用到的合金的一些选择方法的基本知识。

第四篇在很宽的温度和组织范围内，对合金的物理和机械性能进行了评论。这些资料虽然是不详尽的，但是会向读者提供在广泛变化条件下可能碰到的许多性能数据。

第五篇是制造和设计实践。作者们讨论了通常的制造工艺操作。除了阐述可能遇到的问题和如何去解决这些问题外，还讨论了每一种工艺方法的设计参数。这篇从头至尾所作的理论阐述是使设计工程师在选定一种以最低成本生产出构件的工艺技术之前，将具有能考虑各种制造技术的能力。这一篇强调的是两个方面，即怎么使生产工艺过程对不锈钢来说是合适的，同时对设计参数来说也是可行的，因而在确定生产工艺过程之前必须仔细考虑设计参数。

最后也就是第六篇讨论了大量使用领域方面的问题。这些领域代表了不锈钢应用方面最先进的技术水平。这些领域会向读者不仅提供了不锈钢直接重要的用途，而且也会使读者了解不锈钢新的应用概况和工业上为何面临越来越多的必需的使用条件的挑战。

本书末尾附有两个附录。附录 1 是各国主要的不锈钢标准。附录 2 为许多工业上使用的不锈钢和合金以及本书中所提到的非标准不锈钢牌号的名义成分。

还要提到一个重要的情况，即编者没有要求各章节的作者详尽的说明他们的学科，而宁可是一个资料性的评论，以使读者了解所研究的问题和学科的基本知识。这种类型的一本书，由

于在一个单一的领域内包括如此广泛的课题，不可能对每一个课题都作详细的讨论，鼓励读者利用大多数章节都附有的参考文献去比较深入的讨论所感兴趣的特殊问题。也鼓励读者利用书末的索引，因为许多问题在不同的文章中是以不同的角度作了详细的叙述。

我们希望读者们将会得到这本有实用价值的文集，除某些例外，本书中所用的度量单位都是同时用英制和新的 SI 米制单位。读者应该注意到在收集和编辑各章节手稿的长期过程中，压力的 SI 单位标准从牛/米² (N/m²) 变到帕 (Pa)。两种单位制在书中都出现。它们是完全等效的。

我们向各章节的作者表示衷心的感谢。大多数作者都按各自计划时间如期的完成了本手册各章节的编写工作。我们要特别感谢 Bernstein 博士的秘书 Jean Gibson 夫人，她在关键时刻给了我们很大的帮助，以使我们能够按预定的时间表完成了编辑工作。我们深深的感谢我们各自的家人，感谢他们在编辑本手册的数千小时的期间耐心的支持。

Donald Peckner

I. M. Bernstein

目 录

前 言

第一篇 不 锈 钢 引 论

第 1 章 变形不锈钢	3
铁素体类不锈钢	8
马氏体类不锈钢	9
奥氏体类不锈钢	10
沉淀硬化类不锈钢	12
第 2 章 铸造不锈钢	16
铸造和变形不锈钢的比较	16
耐蚀不锈钢类	17
耐热不锈钢类	20
高合金铸件的生产及其常用范围	22
各种合金的论述	23
耐蚀型不锈钢	23
耐热型不锈钢	29
物理性能的影响	34
购货注意事项	35
标准	39
参考文献	41
第 3 章 不锈钢的熔炼	42
操作	42
大气熔炼——电弧炉	42
大气熔炼——氧气顶吹转炉	49
氩-氧脱碳	50
真空脱碳	54
工艺学	56
脱碳的化学原理	56

能量平衡	63
电能	68
表观热容量	70
稳定态表面散热率	71
热量消耗方面的其它考虑	73
全面能量平衡	74
数据的应用	75
渣的还原作用	77
脱磷	83
脱硫	84
合金料	84
超低碳不锈钢的生产	86
不锈钢酸性冶炼操作	88
参考文献	89

第二篇 不锈钢冶金学

第4章 变形奥氏体不锈钢的组织 and 结构	93
引言	93
二元系相图	93
铁-铬-镍系	100
三元相图	100
伪二元截面	105
Fe-Cr-Ni 合金中钼的影响	106
Fe-Cr-Ni 合金中间隙元素的影响	107
铁-铬-锰系	108
三元合金	108
镍和氮的影响	108
合金元素的影响	110
铁素体的形成	110
点阵参量	114
固溶强化	115
相变	117

X

堆垛层错	117
堆垛层错能	119
马氏体相变	123
奥氏体的稳定化	129
成分与奥氏体的稳定性	131
加工硬化	136
织构	140
碳化物的析出	141
$M_{23}C_6$ 型碳化物	142
MC 型碳化物	157
M_6C 型碳化物	161
其他碳化物及有关化合物	164
氮化物的析出	166
中间相	167
σ 、 χ 及 Laves 相	167
Fe-Ni-Cr 合金中 σ 相的平衡	172
Fe-Ni-Cr-Mo 合金中 σ 相的平衡	176
σ 相形成倾向的定量估算	176
σ 相的影响	177
影响 σ 相形成的冶金因素	178
不锈钢中时间-温度-析出关系的研究	183
Fe-Ni-Cr 合金	183
Fe-Ni-Cr-Ti 合金	183
Fe-Ni-Cr-Nb 合金	184
Fe-Ni-Cr-Mo 合金	184
含有其他添加元素的 Fe-Ni-Cr-Mo 合金	189
组织构成对热处理影响的概述	191
参考文献	194
第5章 变形铁素体不锈钢的组织 and 结构	198
引言	198
组织结构	198
碳和氮的影响	199

强化机理	201
热处理强化	202
σ 相	204
475 °C 脆性	205
高温脆性和耐蚀性的降低	215
退火态合金的缺口敏感性	233
铁素体不锈钢的焊接性、耐蚀性和塑性	238
微量间隙元素	239
间隙元素稳定化	241
焊缝金属韧化添加剂	245
σ 相和 475 °C 脆性的敏感性	246
钼合金化	246
总结	248
参考文献	250
第 6 章 变形马氏体不锈钢的组织 and 结构	254
组织结构	254
当量数	260
δ 铁素体	260
δ 铁素体的分解	261
σ 相	264
强化机理	265
化学分析	265
碳含量	265
冷加工	265
淬透性	266
马氏体分级淬火	268
奥氏体形变处理	269
低碳马氏体的强化机理	272
残余应力	272
固溶强化	272
初生奥氏体的晶粒尺寸	272
显微组织和热处理的影响	273

金相	273
淬火	275
冷却速度	277
回火	278
马氏体转变温度	281
残余奥氏体	282
参考文献	283
第7章 变形沉淀硬化不锈钢的组织 and 结构	284
引言	284
半奥氏体沉淀硬化不锈钢	285
奥氏体调整和马氏体转变	286
沉淀硬化	290
热处理时的特殊考虑	292
普通半奥氏体沉淀硬化不锈钢及其化学成分、性能和热处理	293
高温稳定性	299
总结与典型用途	299
马氏体沉淀硬化不锈钢	299
奥氏体沉淀硬化不锈钢	304
总结	305
第8章 变形复相不锈钢的组织 and 结构	307
引言	307
组织结构	307
复相组织	307
超塑性	311
热加工时的变形能力	313
铸锭的热加工	315
显微组织和机械性能的关系	316
IN-744 的机械性能	321
高温停留时机械性能的稳定性	321
普通产品的性能	325
疲劳性能	330
水溶液腐蚀	330

热腐蚀	331
焊接	332
参考文献	335
第9章 铸造铁-铬合金的组织 和 结构	336
引言	336
一般原理	336
强化	336
显微组织	336
分类	338
相组成	340
普通的铸造铬钢	344
HA 合金	344
CA-15合金	345
CA-40合金	347
CA-6 NM 合金	349
CB-7Cu 合金	350
CB-30、CC-50 和 HC 合金	352
参考文献	353
第10章 铸造铁-铬-镍合金的组织 和 结构	354
引言	354
一般原理	354
强化	354
显微组织	356
分类	360
相组成	364
普通铸造铁-铬-镍合金	367
耐蚀合金	368
CF 合金	368
CD-4MCu 合金	372
CE-30合金	372
CG-8 M 合金	373
CH-20合金	373

XIV

CK-20合金	374
CN-7M 合金	374
耐热合金	375
Fe-Cr-Ni 合金	375
Fe-Ni-Cr 合金	379
参考文献	381
第11章 铬对不锈钢的组织 and 性能的影响	382
引言	382
对显微组织的影响	383
铁-铬系	383
铁-铬-镍系	383
奥氏体稳定化	386
奥氏体-奥氏体加铁素体相界	386
对脆性的影响	387
σ 相	387
铬钢的脆性	388
对相变和硬化的影响	390
相变	390
硬化	391
M_s 点	391
对物理性能的影响	393
点阵常数	393
比体积	393
热膨胀	393
热导率	393
电阻率	393
弹性模量	393
对加工硬化的影响	393
对气体腐蚀的影响	394
H_2S 的腐蚀	394
抗碳化	395
在烟道和工业废气中的抗硫作用	395

抗氧化	395
在水溶液中耐蚀性	397
钝化	397
耐点蚀	397
熔盐的腐蚀	398
应力腐蚀	398
晶间腐蚀	398
焊接后的晶间腐蚀	398
含铬10~18%的低碳钢	398
较高的铬、镍含量	399
对热加工的影响	399
奥氏体不锈钢的热加工性能	399
对热处理的影响	400
对强度的影响	400
疲劳强度	400
耐磨性	401
蠕变强度	401
冲击强度	401
强化作用	401
高温性能	402
对焊接的影响	402
铬-镍-锰奥氏体不锈钢	403
沉淀硬化不锈钢	403
参考文献	404
第12章 镍对变形和铸造不锈钢的组织 and 性能的影响	406
引言	406
镍对显微组织的影响	406
奥氏体-奥氏体加铁素体相界	406
σ 相	409
M_s 点	410
镍对铁素体不锈钢性能的影响	410
熔炼	410

热加工性能	410
高温腐蚀和表面氧化温度	411
室温机械性能	411
疲劳强度	413
高温机械性能	414
冷加工性能	414
焊接	414
耐全面腐蚀性	415
抗应力腐蚀开裂性能	417
液态金属腐蚀	420
电阻率和热导率	420
磁性	421
搪瓷类的涂层	421
镍在马氏体不锈钢中包括沉淀硬化钢中的作用	421
室温机械性能	421
高温机械性能	425
耐全面腐蚀性	425
铸件	425
镍在复相不锈钢中的作用	427
热加工性能	427
高温腐蚀和抗表面氧化	427
室温机械性能	427
疲劳强度	428
高温机械性能	428
冷加工性能	429
耐全面腐蚀性和抗应力腐蚀开裂	429
磁性	429
镍在奥氏体不锈钢中的作用	429
熔点	429
热加工性能	430
高温腐蚀和抗表面氧化	432
室温机械性能	432
低温性能	434