

不锈钢的热处理

〔日〕藤田辉夫

机械工业出版社

不锈钢的热处理

〔日〕藤田辉夫

丁文华 张绪江 陈玉璋 译

耿文范 校



机械工业出版社

本书较全面系统地论述了各种类型不锈钢的热处理。对各种不锈钢的规格、性能、特征和热处理中的主要问题都作了论述。最后对不锈钢铸件的热处理也进行了介绍。书中对有代表性和常用钢种的热处理方法作了详细论述，而对与此同类的钢种只作简单介绍以节省篇幅。

本书是作者根据其多年从事不锈钢工作的实际经验而写成的，原书已再版五次，简明扼要，实用性强。

本书可供从事不锈钢工作、热处理工作的科技人员、大专院校有关专业师生参考。

ステンレス鋼の熱処理

藤田輝夫著

日刊工業新聞社

1977年第五版

* * *

不锈钢的热处理

〔日〕藤田輝夫 著

丁文华 张绪江 陈玉璋 译

耿文范 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许可证出字第 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 787×1092¹/₃₂·印张 10⁷/₈·字数 235 千字

1983 年 8 月北京第一版·1983 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—12,600·定价 1.35 元

*

统一书号：15033·5541

序 言

在不锈钢的生产技术中，作为最终工序的热处理是最重要的技术。不锈钢已超过了一百种，从炊事用具直到原子能、宇航工程都有广泛的应用。为了充分发挥它的特性，必须进行各种热处理。

其中许多热处理方法，虽然曾以论文、文献、产品样本等各种方式发表过，然而未能集中起来。在便览、手册中又只有概括的论述，这对不锈钢使用者很不方便。因此笔者在从事不锈钢工作三十五年的经验的基础上，将各种不锈钢的热处理方法汇编成此书。书中详述了具有代表性的钢种的热处理方法，对与其类似的钢种则介绍得较简单，供使用者参考。由于篇幅所限，本书只选择实用性强、有价值的钢种加以论述，其它都省略了，甚至连高级耐热钢、耐热合金也省略了。

希望读者首先阅读各类不锈钢的概论及其有代表性的钢种，之后再阅读所查阅钢种的叙述部分。例如：马氏体型不锈钢的回火脆性、冲击值、冷处理；铁素体型不锈钢的脆性、晶间腐蚀、晶粒度；奥氏体型不锈钢的敏化、稳定化；沉淀硬化型各种不锈钢的热处理意义和高镍合金的热处理概论等。因为各个类型的不锈钢具有某些共同的特性，所以笔者希望首先对其共性有所了解，之后再了解各部分的论述。

日本的不锈钢生产超过一百万吨，将超过美国，也可能在今年（1970年）成为世界第一位，在这样的形势下，考虑到

IV

从事不锈钢热处理方面工作的技术人员与日俱增，这本不成熟的书，如果能对他们提供一些帮助的话，则甚感荣幸。希望读者批评指正，以便再版时修改。

藤田辉夫 1970.9

根据日本工业标准 (JIS) 修订过的新的 (JIS) 标准钢号与根据 JIS-G4303-1972 修订的旧钢号的对照表

钢号及分类

新 钢 号	旧 钢 号 (参考)	分 类
SUS201	—	奥氏体型
SUS202	—	
SUS301	SUS 39 B	
SUS302	SUS 40 B	
SUS303	SUS 60 B	
SUS303Se	—	
SUS304	SUS 27 B	
SUS304L	SUS 28 B	
SUS305	—	
SUS305 J 1	—	
SUS308	—	
SUS309S	SUS 41 B	
SUS310S	SUS 42 B	
SUS316	SUS 32 B	
SUS316L	SUS 33 B	
SUS316 J 1	SUS 35 B	
SUS316 J 1L	SUS 36 B	
SUS317	—	
SUS317L	—	
SUS321	SUS 29 B	
SUS347	SUS 43 B	
SUS384	—	
SUS385	—	
SUS329 J 1	—	奥氏体-铁素体型
SUS405	SUS 38 B	铁素体型
SUS429	—	
SUS430	SUS 24 B	
SUS430F	—	
SUS434	—	
SUS403	SUS 50 B	马氏体型
SUS410	SUS 51 B	
SUS410 J 1	SUS 37 B	
SUS416	SUS 54 B	
SUS420 J 1	SUS 52 B	
SUS420 J 2	SUS 53 B	
SUS420 F	—	
SUS431	SUS 44 B	
SUS440 A	—	
SUS440 B	—	
SUS440 C	SUS 57 B	
SUS440 F	—	
SUS630	SUS 80 B	沉淀硬化型
SUS631	—	

目 录

1. 概论	1
1.1 不锈钢热处理的基础	1
1.2 金属热处理技术标准	8
1.3 表面精加工与热处理的关系	18
2. 马氏体型不锈钢的热处理	21
2.1 规格、性能、特征	21
2.1.1 规格	21
2.1.2 性能, 特征	23
2.2 马氏体型不锈钢热处理要点	23
2.2.1 淬火	23
2.2.2 回火	26
2.2.3 退火	26
2.2.4 热处理和耐蚀性	27
2.3 SUS-50、51、54 (403、410、416) 钢	27
2.3.1 特征	27
2.3.2 热处理注意事项	28
2.3.3 热处理	35
2.3.4 形变热处理 (形变热处理马氏体)	40
2.3.5 擦伤、焊接、咬死的问题	42
2.3.6 渗氮	42
2.3.7 渗硫法	43
2.3.8 机械性能	44
2.3.9 冲击值	46
2.3.10 应力腐蚀开裂试验	51

VI

2.4	SUS-37钢	51
2.5	414 (ASTM, A-473) 钢	52
2.6	SUS-52、53 (420) 钢	54
2.7	420F钢	59
2.8	SUS-44 (431), 16Cr-2Ni钢	59
2.8.1	特征	59
2.8.2	热处理	60
2.9	440A、B、C (SUS-57) 钢	63
2.9.1	特征	63
2.9.2	热处理 (以440C钢为主)	63
2.10	14-4Mo (AISI618) 钢	71
2.10.1	特征	71
2.10.2	热处理	71
2.10.3	机械性能、耐腐蚀性	74
2.11	超级 12Cr 钢	76
2.11.1	422(616)、ASTM-A437、11Cr-Mo-W-V钢	81
2.11.2	12Cr-Nb钢	84
2.11.3	Greek Ascology (AISI 615), 418 Special, 13Cr, 3W, 2Ni钢	85
2.11.4	AISI 619, Lapelloy, 12Cr-3Mo-V钢	87
2.11.5	H46, H53, H58钢	88
2.12	刀具用马氏体型不锈钢	90
2.13	磁性	94
	参考文献	95
3.	铁素体型不锈钢及耐热钢的热处理	97
3.1	规格、性能、特征	97
3.1.1	规格及性能	97
3.1.2	耐蚀性	99
3.1.3	耐热性	100

3.2 铁素体型不锈钢热处理的主要问题	101
3.2.1 晶粒度	101
3.2.2 脆性	102
3.2.3 晶间腐蚀	103
3.2.4 表面状况	105
3.3 SUS-38(AISI405)	106
3.3.1 性能、特征、用途	106
3.3.2 热处理	107
3.4 409(MF-1)钢、MF-2钢、400钢	110
3.4.1 性能、特征、用途	111
3.4.2 热处理	113
3.5 429钢、430钢、SUS-24钢	113
3.5.1 性能、特征、用途	113
3.5.2 热处理中的问题	116
3.5.3 退火	120
3.5.4 中间退火	122
3.5.5 淬火	122
3.5.6 回火	123
3.5.7 消除应力退火	124
3.6 430F钢、430FSe钢	125
3.7 434(18Cr-Mo)钢、436(434 + Nb)钢	126
3.8 442钢	127
3.9 SUH-6钢、446钢	127
3.10 磁性	129
参考文献	131
4. 奥氏体型不锈钢和耐热钢的热处理	133
4.1 规格、性能、特征	133
4.1.1 规格和性能	133
4.1.2 性能和特征	133

4.2 奥氏体型不锈钢的热处理问题	145
4.2.1 固溶热处理	146
4.2.2 稳定化热处理	166
4.2.3 消除敏化热处理	169
4.2.4 消除应力热处理	169
4.2.5 光亮退火	178
4.3 200系列的不锈钢	184
4.4 301(SUS-39)、302(SUS-40)钢	185
4.4.1 性能和特征	185
4.4.2 固溶热处理	186
4.4.3 消除应力热处理	187
4.5 SUS-27(304)钢	188
4.5.1 性能和特征	188
4.5.2 固溶热处理	188
4.5.3 消除应力热处理	190
4.5.4 其它	190
4.6 SUS-28(304L)钢	191
4.6.1 性能和特征	191
4.6.2 固溶热处理	191
4.7 316(SUS-32)、316L(SUS-33)、317(SUS-64)、 317L(SUS-65)钢	194
4.7.1 性能及特征	194
4.7.2 固溶热处理	195
4.7.3 消除应力热处理	197
4.8 314(25-20Si)钢	198
4.9 SUS-41(309S)、SUS-42(310S)、SUH-32(309) SUH-33(310)钢	199
4.9.1 性能及特征	199
4.9.2 固溶热处理	199

4.9.3	消除应力热处理	200
4.9.4	σ 相	200
4.9.5	晶粒度	201
4.10	SUS-29(329)、SUS-43(347)、348钢	202
4.10.1	性能和特征	202
4.10.2	固溶热处理	202
4.10.3	稳定化热处理	204
4.10.4	消除应力热处理	204
4.10.5	348钢	204
4.11	SUH-34(330)钢	204
4.12	SUS-62(305)钢	205
4.13	384钢	205
4.14	385钢	206
4.15	18-9LW钢	207
4.16	18-8B钢	208
4.17	沃思特耐热不锈钢(Worthite)	209
4.18	卡彭特(Carpenter)-20、20Nb及20Nb3合金	209
4.19	伊柳姆镍铬铜耐酸合金G及R(Illium)	211
4.20	哈斯特罗伊(Hastelloy)B、B-282、C、C-276合金	212
4.21	镍-铬合金、因科罗伊(Incoloy)-800, 因康涅 (Inconel)-600	215
4.21.1	高Ni合金	215
4.21.2	因科罗伊800、ASTM B 409及其他	219
4.21.3	因康涅合金600、ASTM B 168及其他	220
4.22	特殊表面处理	222
4.22.1	低温碳氮共渗(软氮化)	222
4.22.2	渗硫法	223
4.23	弹簧用不锈钢	223
4.24	磁性和热处理	231

X

4.24.1 从奥氏体向马氏体的相变	231
4.24.2 残余铁素体的影响	236
参考文献	239
5. 沉淀硬化型不锈钢 (PH不锈钢) 的热处理	242
5.1 特征	242
5.2 分类和金相	243
5.2.1 马氏体型	243
5.2.2 二重处理的半奥氏体型	243
5.2.3 奥氏体型	244
5.2.4 奥氏体-铁素体型	244
5.2.5 金相	245
5.3 PH不锈钢热处理的种类和代号	249
5.4 马氏体型不锈钢的热处理	250
5.4.1 17-4PH(SUS-80、AISI630、ASTM A-461)	251
5.4.2 不锈钢W(322)、AISI 635	265
5.4.3 AFC77钢	268
5.4.4 15-5PH钢	269
5.4.5 13-8Mo钢	271
5.4.6 AM362(Almar362)钢	273
5.4.7 AM363钢	274
5.4.8 AM367钢	275
5.5 半奥氏体型沉淀硬化不锈钢的热处理	276
5.5.1 17-7PH钢、AISI 631钢、ASTMA-461钢	277
5.5.2 PH15-7Mo、AISI 632、ASTM A-461钢	293
5.5.3 PH14-8Mo钢	295
5.5.4 AM-350、AISI 633钢, AM-355、AISI 634钢	297
5.5.5 FV 520钢	312
参考文献	312
6. 不锈钢铸件的热处理	315

6.1 马氏体型不锈钢铸件的热处理要点	315
6.1.1 淬火	315
6.1.2 回火	316
6.1.3 低温退火	316
6.2 铁素体型不锈钢铸件的热处理要点	316
6.3 奥氏体型不锈钢铸件的热处理要点	317
6.4 各种不锈钢铸件的热处理	318
6.4.1 CA-15(12Cr) 钢	318
6.4.2 耐海水腐蚀的叶轮	319
6.4.3 CA-40(12Cr) 钢	319
6.4.4 CB-30(12Cr) 钢	319
6.4.5 CC-50(28Cr) 钢	319
6.4.6 CE-30(29-9) 钢	319
6.4.7 CF-8(19-9) 钢	322
6.4.8 CF-20(19-9) 钢	322
6.4.9 CF-8M, CF-12M(19-10Mo) 钢	322
6.4.10 CF-8C(19-10Nb) 钢	322
6.4.11 CF-16F(19-10F) 钢	322
6.4.12 CH-10, 20, CH10M(25-12) 钢	322
6.4.13 CK-20(25-20) 钢	322
6.4.14 CN-7M(20-29-MoCu) 钢	322
6.4.15 CD4MCu(26Cr-5Ni-MoCu) 钢	322
6.5 各种耐热钢铸件的热处理	322
6.5.1 HA 钢	322
6.5.2 HC 钢及其它	323
6.6 焊后热处理	324
6.7 机械性能	324
参考文献	334
全书参考文献	335

1. 概 论

1.1 不锈钢热处理的基础

热处理做为钢材和制件的最终加工工序，不言而喻，是很重要的。特别对不锈钢来说，热处理的目的，不仅是为了改善物理性能和机械性能，而且可以恢复在制造过程中被影响了耐蚀、耐酸性，这是很重要的一点。所以，不锈钢热处理的好坏，对制件的质量起决定性的作用。

使用不锈钢的目的，首先在于它的耐蚀、耐酸性能。所以，即使说它的热处理是最重要的工序，也并非言过其实。另外，也有利用不锈钢的耐低温、耐热、耐磨或磁性等特性的。这些性能也是由热处理所左右的。

不锈钢的钢种已超过了一百种，其中包括耐热、耐酸合金。新的钢种仍在不断涌现。本书由于篇幅所限，省略了很多钢种，甚至对耐热合金也省略了。

热处理的基本概念，由于各钢种的分类是不变的，所以首先对其有代表性的钢种作了详述，而对其应用的各章节仅作了简略的叙述。希望能掌握基本概念而加以运用。这就意味着希望读者不仅阅读各章节，更重要的是掌握各种类型不锈钢热处理的基本概念。

为了叙述方便起见，有的章节叙述得详细。例如：在2.3.9节中详述了SUS-50钢的回火脆性和冲击值；在2.9.2（7）节中详述了440C钢的冷处理；在4.2.5节中详述了光亮退火。因此，希望读者不仅阅读根据目录认为有必要看

的钢种，也请阅读其他有关内容。

还有，由于热处理涉及的面较广，关于热处理设备、管理或特殊热处理（如高频淬火等），请阅读其他专门书籍。

热处理的实质就是升高温度，然后进行适当冷却的过程。从这种意义上说，热处理就是通过升温 and 冷却的方法，以及把由此而得到的性能数据加以罗列即可。但必须从本质上掌握温度对热处理件性能的影响。

金相、状态图是热处理的基础，然而状态图是表示平衡状态的，也就是表示相当长时间的热处理情况。实际的热处理过程总是偏离平衡条件下进行的，对这一点必须牢记。进行热处理作业，一方面要推测热处理工艺偏离状态图的程度，另一方面又要利用状态图，这是重要的。同时实践经验也是很必要的。

利用文献资料时，也要考虑到尺寸效应（质量效应）与现场操作条件是有差异的，否则就会产生错误。特别是在研究室里通过小试样得到的数据，不一定适用于现场的制件，对于蠕变断裂或冲击值等数据，其试样的选取方式和制件的尺寸都有很大的影响。所以利用文献资料时，对这一点应予以注意。当然，数据本身也难免有误差。因此，仅仅根据一个数据就用来确定其所需要的性能将要引起很大差错。

只通晓热处理的基本概念，而未与现场经验相结合，就不能正确地进行热处理。

（1）原材料质量要好

假如原材料质量不好，无论热处理进行得如何高明，也得不到好的制件。因此，原材料的进料检查是很重要的。

（2）要认真进行热工管理

热处理归根结底就是加热和冷却，如果不能正确地进行

热的测定和控制温度，就收不到良好的热处理效果。

(3) 质量管理

对热处理制件的质量必须严格控制，因此必须了解应采用何种工艺以及其保证质量的要点。

不锈钢是一种特殊钢种，必须结合上述三点来了解它的本质。

做为原材料，不锈钢比普通钢的镍铬含量要高。如图 1.1 所示，因为铬、镍难于扩散，所以热处理时加热温度要高，加热时间也要长。铬、镍对原材料中的偏析影响也很大，图 1.2 是 SUS-27 钢钢锭的宏观组织，柱状晶很发达，若仔细观察，则可看到如图 1.3 所示的树枝状结晶 \ominus ，它向着某个方向排列，在枝晶的中心含铬高，枝晶之间含铬低而含碳高（当钢中含镍时，则在枝晶之间含镍高）。这当然是合金凝固的结果，由于来不及扩散，即使进行锻造压延也不能变得十分均匀。因此，对于不锈钢来说，假如在原材料中

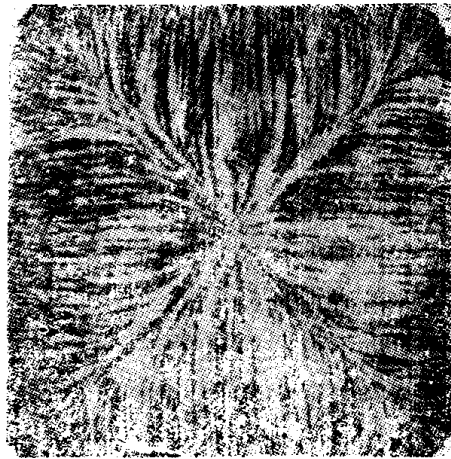
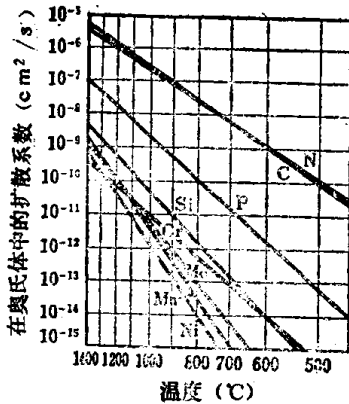


图1.1 钢中各元素的扩散情况

图1.2 SUS-27钢锭的宏观组织

\ominus 原图看不清，故图1.3从略。——译者

残存有严重的偏析,则借助于热处理也很难使其组织均匀化。所以,不管进行怎样高明的热处理,也不会得到更好的性能。因此,对原材料的验收非常重要。

在热工管理方面,对热电偶、热工仪表也必须经常进行定期的检修和鉴定。有时,往往因为热电偶的老化、热工仪表失灵而不能反映真实的炉内温度。

对炉内温度分布也必须正确地进行检测。尤其要掌握炉温和工件温度的关系。尽管在炉内装了热电偶,但它毕竟只是某个测定点的温度,而不是工件的温度。即使是炉温,也由于热电偶插入位置的不同而产生差异。如图 1.4 所示。该图就是由于热电偶插入位置(长度)不同,受炉壁的温度的影响不同而产生误差的一个例子。

另外选择热电偶材料时,要考虑到不锈钢热处理时的加热温度较高,所以如果选用易老化的材料,就会在操作过程中造成误差。表 1.1 列出了热电偶材料的特性。

正确地控制加热温度这一环节之后就是冷却环节,否则尽管精心地保持了适当的加热温度,如果冷却方法不当,热处理也不会收到成效。不锈钢对冷却是很敏感的,因而必须掌握冷却剂的特性(表 1.2,表 1.3)。关于加热气氛,在有关章节中都有论述,炉气的分类列于表 1.4。

关于热处理设备和热工管理等请参阅其他专门的书籍。

根据机械工业发展临时措施法所规定的热处理合理化标

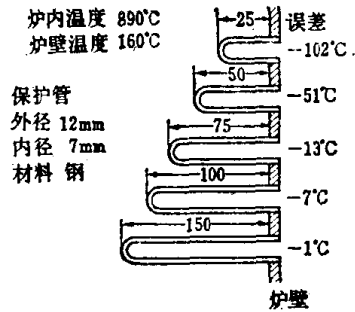


图1.4 由于热电偶插入炉壁内长度不同而引起的测温误差