

钢铁材料手册

第6卷

耐热钢

《钢铁材料手册》总编辑委员会 编著

中国标准出版社

TG14-62
2002053

钢铁材料手册

第6卷

耐热钢

《钢铁材料手册》总编辑委员会编著

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢铁材料手册. 第6卷, 耐热钢/《钢铁材料手册》
总编辑委员会编著. —北京: 中国标准出版社, 2000
ISBN7-5066-2320-X

I. 钢… II. 钢… III. ①钢-金属材料-手册②铁-
金属材料-手册③耐热钢-手册 IV. TG14-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 77118 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/32 印张 21½ 插页 4 字数 645 千字

2001年5月第一版 2001年5月第一次印刷

*

印数 1—3 000 定价 48.00 元

前

言

钢铁工业是国民经济发展的重要基础工业,钢铁是国民经济各部门的重要原材料。随着我国改革开放的进一步深化,社会主义市场经济的不断完善和科学技术的日益进步与发展,国民经济各部门对钢铁产品的品种和质量有了更高的要求。同时,钢铁生产企业也在不断地进行结构优化,调整产品结构,降低成本,提高产品质量,以适应市场的需要,从而更好地为国民经济的发展服务。

为帮助钢材使用部门和钢铁企业更好地掌握和理解钢材标准中的技术要求,冶金信息标准研究院组织编写了这套手册。本手册按照钢类分为10卷,分别为碳素结构钢、低合金高强度钢、优质碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢、耐热钢、工具钢、弹簧钢、轴承钢、精密合金类材料。各分册以所述钢类的基本技术特性为基础,以现行的我国全部标准和国外部分标准的主要技术要求为重点,将基本技术特征与标准技术要求相结合进行综合论述。在使读者掌握

和理解标准技术要求的同时,也能对各钢类的基本技术特征和生产情况有较深入的了解。其内容包括总论、定义、分类、生产工艺、主要生产品种和用途、金相组织、物理性能、化学性能、力学性能、工艺性能、标准主要技术要求,以及国内外生产发展状况等。附录部分还收入了主要国外(国际)标准目录和国内外钢的类似牌号对照等。

本手册内容丰富,信息量大,实用性强,是钢铁生产、使用部门,以及科研院所和大中学校有关人员必备的工具书和参考资料。

本手册在编写过程中参阅了国内外有关文献资料 and 标准,在此对有关单位和作者表示衷心的感谢。由于我们编写人员的水平有限,本手册难以准确、完善地反映钢铁工业生产和科学技术不断发展的情况,错误和不当之处恳请读者提出宝贵意见。

本手册中的国内和国外(国际)标准主要技术要求摘录并非保证依据,仅供参考,在任何情况下都应以前行原文版本为准。选编的美国 ASTM 和英国 BS 标准中有个别标准采用英制单位,为了更准确地表明其规定,本手册未进行公制单位换算。

本书为第 6 卷 耐热钢。

编者

2001 年 3 月

目

录

1	总论	1
2	耐热钢的分类	7
2.1	按合金元素含量分类	7
2.2	按钢的组织状态分类	7
2.3	按钢的特性分类	8
2.4	按钢的主要用途分类	8
3	耐热钢的牌号表示方法	12
3.1	中国耐热钢的牌号表示方法	12
3.2	日本耐热钢的牌号表示方法	13
3.3	美国耐热钢的牌号表示方法	15
3.4	俄罗斯耐热钢的牌号表示方法 ...	17
3.5	德国耐热钢的牌号表示方法	19
3.6	法国耐热钢的牌号表示方法	20
3.7	英国耐热钢的牌号表示方法	21
3.8	欧洲标准化组织耐热钢的牌号 表示方法	22
3.9	国际标准化组织(ISO)耐热钢的 牌号表示方法	23

4	耐热钢的基本性能	25
4.1	主要合金元素在耐热钢中的作用	25
4.2	耐热钢的基本性能	30
5	耐热钢的主要生产工艺简介	41
5.1	耐热钢的冶炼	41
5.2	耐热钢的浇铸	41
5.3	耐热钢的加工	42
6	各类耐热钢的特性和用途	47
7	我国耐热钢标准的主要技术要求	51
7.1	GB/T 1221—1992 耐热钢棒	51
7.2	GB/T 4238—1992 耐热钢板	62
7.3	GB 5310—1995 高压锅炉用无缝钢管	69
7.4	GB 6479—2000 高压化肥设备用无缝钢管	84
7.5	GB 9948—1988 石油裂化用无缝钢管	90
7.6	GB/T 8732—1988 汽轮机叶片用钢	97
7.7	GB/T 12773—1991 内燃机气阀钢钢棒技术条件	102
7.8	GB/T 13296—1991 锅炉、热交换器用不锈钢无缝 钢管	107
7.9	GB 713—1997 锅炉用钢板	115
7.10	GB/T 8492—1987 耐热钢铸件	121
7.11	JB/T 6403—1992 大型耐热钢铸件	125
7.12	GJB 2294—1995 航空用不锈钢及耐热钢棒规范 ...	133
7.13	GJB 2455—1995 航空用不锈钢及耐热钢圆饼和环坯规 范	145
7.14	YB/T 5246—1993 2Cr3WMoV(GH34)钢锻制圆 饼	152

8	国外耐热钢标准的主要技术要求	154
8.1	JIS G3203—1988 高温压力容器用合金钢锻件	154
8.2	JIS G3206—1993 高温压力容器用高强度铬钼钢锻件	157
8.3	JIS G3463—1994 锅炉、热交换器用不锈钢管	159
8.4	JIS G3467—1988 加热炉用钢管	169
8.5	JIS G4107—1994 高温用合金钢螺栓材料	175
8.6	JIS G4109—1987 锅炉及压力容器用铬钼钢板	177
8.7	JIS G4110—1993 高温压力容器用高强度铬钼钢板	183
8.8	JIS G4311—1991 耐热钢棒	186
8.9	JIS G4312—1991 耐热钢板	195
8.10	JIS G5122—1991 耐热钢铸件	205
8.11	JIS G5151—1991 高温高压用铸钢件	208
8.12	JIS G5202—1991 高温高压用离心铸钢管	210
8.13	ASTM A167—1996 不锈和耐热铬镍钢厚板、薄板和带材	213
8.14	ASTM A176—1997 不锈和耐热铬钢厚板、薄板和带材	214
8.15	ASTM A193M—1998a 高温用合金钢和不锈钢螺栓材料	215
8.16	ASTM A213M—1995a 锅炉、过热器和热交换器用铁素体和奥氏体合金钢无缝钢管	222
8.17	ASTM A240M—1999a 压力容器用耐热铬和铬镍不锈钢厚板、薄板和钢带	231
8.18	ASTM A335M—1995a 高温用铁素体合金钢无缝钢管	244
8.19	ASTM A451—1993 高温用离心铸造奥氏体钢管	247
8.20	ASTM A453M—1996 膨胀系数与奥氏体不锈钢相匹配的高温螺栓材料	249
8.21	ASTM A480M—1998 扁平轧制不锈钢和耐热钢厚板、薄板和钢带一般要求	253

8.22	ASTM A484M—1998 不锈钢和耐热钢棒材、钢坯和 锻件一般要求·····	267
8.23	ASTM A565—1997 高温用马氏体不锈钢棒材、锻件 和锻坯·····	274
8.24	ASTM A638M—1995 高温用沉淀硬化铁基超级合 金棒材、锻件和锻坯·····	277
8.25	ASTM A693—1993 沉淀硬化不锈钢和耐热钢厚板、 薄板和钢带·····	280
8.26	ASTM A768—1995 燃气轮机转子和轴用经真空处 理的12%铬合金钢锻件·····	287
8.27	ASTM A891—1990(1995 确认) 燃气轮机转子盘件 和轮用沉淀硬化铁基超级合金锻件·····	290
8.28	ASTM A965M—1997 压力和高温部件用奥氏体钢 锻件·····	292
8.29	DIN 1654/5—1989 冷锻和冷挤压用钢 不锈钢交 货技术条件·····	296
8.30	DIN 17175—1979 耐热钢无缝钢管 交货技术条 件·····	304
8.31	DIN 17176—1990 高温和压力下储氢用无缝圆钢管 交货技术条件·····	311
8.32	DIN 17240—1976 螺栓和螺母用耐热和高耐热材料 质量规范·····	321
8.33	DIN 17243—1987 可焊接的耐热钢锻件和轧制或锻 造的钢棒 交货技术条件·····	346
8.34	DIN 17457—1985 具有特殊要求的奥氏体不锈钢焊 接圆钢管 交货技术条件·····	354
8.35	DIN 17458—1985 具有特殊要求的奥氏体不锈钢无 缝圆钢管 交货技术条件·····	360
8.36	DIN 17459—1992 高温奥氏体钢无缝圆钢管 交货 技术条件·····	367

8.37	DIN 17460—1992 高温奥氏体钢厚板、薄板、冷轧和 热轧钢带、棒材和锻件 交货技术条件	380
8.38	DIN 17465—1993 耐热钢铸件 交货技术条件	394
8.39	DIN EN 10213/2—1996 承压用钢铸件 交货技术 条件 第2部分:室温和高温用钢牌号	401
8.40	DIN EN 10213/4—1996 承压用钢铸件 交货技术 条件 第4部分:奥氏体和奥氏体-铁素体钢牌号	405
8.41	ГОСТ 5520—1979 锅炉和压力容器用碳素钢、低合金 钢和合金钢钢板 技术条件	408
8.42	ГОСТ 5582—1975 耐蚀、耐热及热强钢薄板	415
8.43	ГОСТ 5632—1972 耐蚀、耐热及热强高合金钢和合金 牌号和技术要求	424
8.44	ГОСТ 5949—1975 耐蚀、耐热及热强钢棒材和冷加工 材 技术条件	460
8.45	ГОСТ 7350—1977 耐蚀、耐热及热强钢厚板技术条 件	479
8.46	ГОСТ 18968—1973 蒸汽轮机叶片用耐蚀及热强钢 棒材和扁钢	487
8.47	ГОСТ 20072—1974 耐热钢 技术条件	493
8.48	BS 970/4—1970(1987) 变形钢 第4部分:不锈钢、 耐热钢和阀门钢	505
8.49	BS 1449/2—1983 厚板、薄板和钢带 第2部分:不 锈及耐热钢厚板、薄板和钢带	514
8.50	BS 1501/3—1990 承压用钢厚板、薄板和钢带第3部 分:耐热耐蚀钢规范	525
8.51	BS 3059/2—1990 锅炉和过热器用钢管 第2部分: 具有规定高温性能的碳钢、合金钢和奥氏体不锈钢 管规范	534
8.52	BS 3605/1—1991 承压用奥氏体不锈钢管 第1部 分:无缝钢管规范	552
8.53	NF A35:578—1991 钢铁产品 高温用不锈钢	562

8.54	NF A49:213—1983 高温用非合金钢和钼及铬-钼合金钢无缝钢管 尺寸(附标准偏差)与交货技术条件…	575
8.55	NF A49:214—1978 高温用奥氏体无缝钢管尺寸(附标准偏差)与交货技术条件……………	590
8.56	NF A49:215—1981 热交换器用非合金钢和铁素体合金钢无缝钢管 尺寸与交货技术条件……………	599
8.57	NF A49:217—1987 热交换器用铁素体、奥氏体和奥氏体-铁素体不锈钢无缝钢管 尺寸与交货技术条件…	610
8.58	ISO 683-15:1992 内燃机用阀门钢 EN 10090—1998 内燃机用阀门钢和合金 ……	622
8.59	ISO 4955:1994 耐热钢和合金 EN 10095—1995 耐热钢和合金 ……	632
8.60	ISO/TR 4956:1984 发动机高温用变形钢 ……	645
8.61	ISO 9328-5:1991 承压用钢板和钢带—交货技术条件—第 5 部分:奥氏体钢 ……	653

附录 I	国内外耐热钢类似牌号对照……………	661
------	-------------------	-----

附录 II	国外耐热钢标准目录……………	668
-------	----------------	-----

1	日本 JIS ……	668
2	美国 ASTM ……	668
3	德国 DIN ……	669
4	俄罗斯 ГОСТ ……	670
5	英国 BS ……	671
6	法国 NF ……	672
7	国际标准 ISO ……	672
8	欧洲标准 EN ……	673

1 总 论

耐热钢是指在高温下工作的钢材。耐热钢的发展与电站、锅炉、燃气轮机、内燃机、航空发动机等各工业部门的技术进步密切相关。由于各类机器、装置使用的温度和所承受的应力不同,以及所处的环境各异,因此所采用的钢材种类也各不相同。这里所谈的温度是个相对的概念。最早在锅炉和加热炉中使用的材料是低碳钢,使用的温度一般在 200°C 左右,压力仅为 0.8MPa 。直到现在使用的锅炉用低碳钢,如20g,使用温度也不超过 450°C ,工作压力不超过 6MPa 。随着各类动力装置的使用温度不断提高,工作压力迅速增加,现代耐热钢的使用温度已高达 700°C ,使用的环境也变得更加复杂与苛刻。现在,耐热钢的使用温度范围为 $200\sim 800^{\circ}\text{C}$,工作压力为几兆帕到几十兆帕,工作环境从单纯的氧化气氛,发展到硫化气氛、混合气氛以及熔盐和液金属等更复杂的环境。

为了适应各种工作条件不断发展的要求,耐热钢也在不断地发展。从最早期的低碳钢、低合金钢,到成分复杂的、多元合金化的高合金耐热钢。

现按珠光体型低合金热强钢、马氏体型热强钢、阀门钢、铁素体型耐热钢、奥氏体型耐热钢、沉淀硬化型耐热钢等分别介绍如下。

珠光体型低合金热强钢

随着蒸汽锅炉、电站、燃气轮机及航空发动机的发展,为满足各种部件在较高温度下工作的需要,冶金材料工作者在低碳钢基础上发展了一系列具有较高的热强性和抗氧化性良好的低合金耐热钢。20世纪30年代就发现了钼是提高耐热钢热强性的最主要元素之一。在低碳钢中加入 0.5% 钼,可以使钢的热强性明显提高,随后便在蒸汽锅炉上得到广泛应用。钼钢的发展实际上是近代低合金热强钢的源头。在工业较发达国家的锅炉用钢标准中,几乎都列有含钼钢种。我国在1959年

发布的 YB 6—1959 中列入了 16Mo 这个牌号。在钼钢的基础上研制了低合金铬钼钢。英国早在 1938 年就把含 0.8%Cr、0.5%Mo 钢(相当于 15CrMo)用在锅炉过热器上。其后又开发了性能更好的 $1\frac{1}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$ 及 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 等钢种。后者用于 540℃ 的 137MPa 的蒸汽过热器(壁温约 590℃)、主蒸汽管道及联箱等,近来也用于钠冷却的快中子堆的蒸汽发生器及先进的高温气冷堆中。同时 Cr-Mo 钢也广泛用于石油化工的中温高压容器设备。从高压抗氢要求开发了 12Cr3Mo 等钢种。为了抑制 Cr-Mo 钢在长期使用中钼向碳化物迁移,进一步提高钢的热强性,又开发了低合金 Cr-Mo-V 钢,如 12Cr1MoV 钢。此种钢组织稳定性较好,当温度高达 580℃ 时仍具有良好的热强性。目前此钢是我国电站锅炉首选材料。含碳及合金元素较高的 Cr-Mo-V 钢也有新发展。如用作铸件的 15Cr1Mo1V,用作紧固件的 25Cr2MoVA、25Cr2Mo1V 及 20Cr1Mo1V 钢,用作汽轮机整锻转子和叶轮的 27Cr2Mo1V 钢,用于石油化工高压抗氢部件的 20Cr3MoV、17Cr3MoV 等钢。20 世纪 60 年代以来,为了进一步提高低合金耐热钢的热强性和抗氧化性,国内外研制出多种多元低合金耐热钢,其工作温度可达 600~620℃。如 12Cr2MoWVTiB(102)钢,已用于发电机的过热器管和再热器。

马氏体型热强钢

中合金和高合金耐热钢基本上是和不锈钢同时发展起来的。早在 1821 年,法国 Berthier 曾报道,用铬合金化的钢具有高的抗氧化性,且随着铬含量的增加而增大。在 1914 年,德国施特劳斯等指出,含一定量的铬和镍具有抗氧化和耐酸作用。直到 1920 年以后才逐渐研制出铬系和铬镍系不锈钢耐热钢。有些钢既可作为不锈钢,又可作为耐热钢应用。

12%Cr 型马氏体热强钢,有优良的综合力学性能、较好的热强性、耐腐蚀性及振动衰减性,广泛用于制造汽轮机叶片而形成独特的叶片钢系列,并广泛用作汽缸密封环、高温螺栓、转子和锅炉过热器、再热器管、燃气轮机涡轮盘、叶片、压缩机及航空发动机压气机叶片、轮盘、水轮机叶片及宇航导弹部件等。12%Cr 型耐热钢的开发与应用已有 60 多年历史,至少已有 300 余种牌号。但其成分的差别不大,都是以 12%

Cr 钢为基础在添加钨、钼、钒、镍、铌、硼、氮、钛、钴等元素含量上做些变化。

我国从 20 世纪 50 年代开始生产叶片钢,当时主要引用原苏联标准的牌号。60 年代仿制原苏联的 12%Cr 钢 3H961,用于航空发动机压气机叶片和叶轮。70 年代引进英国斯贝发动机用的 12%Cr 钢 FV535、FV488 等。1988 年制定了我国第一个汽轮机叶片钢标准(GB/T 8732—1988)。

阀门钢

阀门钢是耐热钢的一个重要分支,是制造内燃机进、排气阀门的专用特殊材料。这种材料常处于 450~900℃ 的高温和 3000~7000kPa 的爆发压力的工作条件下,并长期承受汽油、柴油等燃气的高温腐蚀与冲刷及阀门本身与阀座的摩擦。因此,阀门材料必须具备在最高工作温度下有足够的热强性、抗高温腐蚀性、抗氧化性、耐磨性和抗冲击性。

汽车和内燃机工业的发展,推动了阀门钢的开发。最早的阀门钢是 20 世纪 20 年代的 0.4C-12Cr 钢。1930 年开始使用 8.5Cr-3Si 钢。1942 年英国列入标准中的牌号为 En52。稍后法国提出了 10Cr-2Si-1Mo 钢。这样就形成了以 Cr-Si 为主的马氏体型阀门钢。这种钢在 650℃ 以下有良好的热强性和抗氧化性,且较经济,至今各国还广泛用于低负荷的排气阀门和中负荷的进气阀门。我国标准中的牌号为 4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo。增加碳含量并加入镍、钼、钨、钒等可提高耐热性,发展为高碳马氏体型耐热钢,碳含量最高达 0.80%~0.85%,如 X80CrSiNi20(XB)、X85CrMoV193、X80CrSiMoW152 等。我国研制了新钢种 MF811。

中、高负荷的排气阀一般采用奥氏体型阀门钢。最早使用的是高碳 18Cr-8Ni 奥氏体钢。为了提高钢的热强性添加了钨、钼,并相应提高了镍的含量,如 X45CrNiW189、14Cr-14Ni-2W-1Mo 钢。在 21Cr-12Ni 钢中加入 0.2%N 进一步稳定了奥氏体并增加了钢的硬度和延缓了碳化物的集聚。用锰代替 Cr-Ni 钢中的镍始于 1945 年。1950 年 Jenmings 发现硅含量小于 0.25%显著提高了抗氧化铅腐蚀的能力。1952 年美国发明了低硅的 21Cr-9Mn-4Ni-N 钢(21-4N),与 21Cr-12NiN、14Cr-14Ni-

2W-Mo 相比,性能优越较经济,在汽油机排气阀门上迅速得到广泛应用。在 21-4N 钢基础上添加硫改善切削性能形成了 21-4NS。添加铌、钼、钨和钒,提高了高温强度、疲劳强度和耐磨性,开发了 21-4WNbN, X60CrMnMoVNbN2110 钢。21-4N 钢硅低氮高,生产难度大,对其成分进行调整,成为 21-2N,这种钢用于轻负荷排气阀更为经济。23-8N 是用于柴油机排气阀门较经济的材料,性能优于 21-12N 和 14Cr-14Ni-2W-Mo 钢,工艺性能也优于 21-4N 钢。美国还致力于改善阀门钢的高温疲劳强度和抗腐蚀、耐磨性的研究,开发了汽油机、柴油机两用的新型排气阀门材料 VMS513,在高温下的疲劳强度比 21-4N 高 40%。

我国阀门钢的研究生产始于 20 世纪 50 年代。在 YB 11—1959《耐热钢技术条件》中列入了 4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo、4Cr14Ni14W2Mo 三个阀门钢牌号。70 年代开始研制 21-4N。80 年代国产阀门钢进入全面发展阶段。引进消化了 21-4WNbN, XB, 21-12N, 23-8N, 21-2N, X85CrMoV182, X60CrMnMoVNbN2110, 20-11P 等。

铁素体型耐热钢

在室温和使用温度条件下这类钢的组织为铁素体。这类钢铬含量高于 12%,不含镍,只含有少量的硅、钛、钼、铍等元素。这类钢具有优异的耐大气腐蚀、应力腐蚀性能,在一定的酸、碱、盐溶液中也有一定的耐腐蚀能力,因此这类钢实际上是一类优异的不锈钢。并且它们在高温下又有良好的抗氧化性能及一定的热强性,也可以作为耐热钢。这种钢基本上是和不锈钢同时发展起来的。从 20 世纪 60 年代开始,为了节省镍和铬,各国竞相开展了节约镍铬的经济耐热钢的研究。德国由于缺乏镍资源,铁素体型钢应用较多。我国在 60 年代也比较重视推广铁素体型耐热钢。但由于其综合力学性能较差,应用范围受到限制。

铁素体型耐热钢可分为三类:(1)含铬为 11%~14%的耐热钢;如 0Cr13,0Cr13Al,00Cr12,1Cr13Al,1Cr13Si3;(2)含铬为 17%左右的耐热钢,如 1Cr17,1Cr17Mo、1Cr18Si2;(3)含铬为 25%~30%的耐热钢,如 1Cr25Si2、Cr28Mo、Cr30Mo 等。

奥氏体型耐热钢

在室温和工作温度条件下此类钢的组织为奥氏体(有时有析出的碳化物)。代表性的钢种是含镍高于 8% 的铬镍奥氏体型耐热钢,如 18Cr-8Ni、25Cr-20Ni 及 Cr-Mn-N、Fe-Mn-Al 等钢。这类钢在高温下具有较高的热强性,及优异的抗氧化性。一般制作用于 600℃ 以上承受较高应力的部件,其抗氧化性温度可达 850~1250℃。这类钢基本上是和不锈钢同时发展起来的,有些钢同时就是优异的奥氏体型不锈钢。

我国在奥氏体型钢方面,除仿制和生产了大量国外耐热钢牌号外,多年来还开发了 Cr-Mn-N、Cr-Mn-Ni-N、Cr-Ni-N 及 Fe-Al-Mn 和 Cr-Mn-Al-Si 系耐热钢。Cr18Mn12Si2N、Cr20Mn9Ni2Si2N 及 3Cr24Ni7SiNRE 列入国家标准推广应用。

铸造耐热钢在耐热钢领域中占有相当大的比重。20 世纪 70~80 年代以来,由于石油化学工业的飞速发展,在大型合成氨及乙烯装置中采用了大量的高合金耐热铸钢,其使用温度可高达 1150℃,开发了一系列 Fe-Cr-Ni 基耐热钢及耐热合金。如 4Cr25Ni35WNb, 4Cr25Ni35Co15W5, 5Cr28Ni48W5 等。一些发达国家早在 20 世纪 30 年代就制定了耐热铸钢标准。1987 年,我国建立了第一个耐热铸钢国家标准。

沉淀硬化型耐热钢

早在 1934 年美国 Folog 就发明了沉淀硬化型不锈钢,20 世纪 40~50 年代,马氏体、半奥氏体沉淀硬化型不锈钢已用于军事和民用工业。由于这类钢在 540~650℃ 范围内具有较高的热强性和足够的抗氧化性,我国和国外标准都把这类沉淀硬化型钢作为耐热钢的重要组成部分。

沉淀硬化型耐热钢按其组织可分成马氏体沉淀硬化耐热钢(如 0Cr17Ni4Cu4Nb)、半奥氏体(或称奥氏体-马氏体过渡型)沉淀硬化耐热钢(如 0Cr17Ni7Al 和 0Cr15Ni7Mo2Al)和奥氏体沉淀硬化耐热钢(如 0Cr15Ni25Ti2MoVB)等。

20 世纪 40 年代,随着航空燃气发动机的飞速发展,奥氏体沉淀硬

化耐热钢也有很大发展。40年代,美国在18-8型不锈钢中加入铌、钼、钛等元素,提高了这类钢在500~700℃温度下的持久强度,其代表钢种为16-25-6(Fe-25Ni-16Cr-6Mo)。在50年代发现金属间化合物能使金属获得强化,其使用温度超过750℃。由此开发了一系列金属间化合物沉淀硬化奥氏体耐热钢。如A-286(相当于我国标准中的0Cr15Ni25Ti2MoVB,或GH2132)。原苏联也前后开发了ЭИ395、ЭИ481、ЭИ126等以碳化物沉淀和金属间化合物沉淀的沉淀硬化奥氏体耐热钢。我国在20世纪60~70年代也仿制了美国和原苏联的一些典型的沉淀硬化奥氏体耐热钢(现列在铁基高温合金系列中),如GH2132、GH2036、GH1131等,这类钢也常称为“超级合金”或“铁基合金”。各国的分类情况不同,原苏联是放在耐热钢中,美国是放在不锈钢耐热钢和铁基合金中,我国则把这类沉淀硬化奥氏体耐热钢作为铁基高温合金,成为高温合金的一部分。耐热钢标准中的0Cr15Ni25Ti2MoVB,即高温合金标准中的GH2132,只是性能、成分要求不同。