

产品设计材料手册

张玉龙 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



产品设计材料手册

(美) 查尔斯 A. 哈珀 (Charles A. Harper) 主编

张玉龙 等译

机械工业出版社

Charles A. Harper

HANDBOOK OF MATERIALS FOR PRODUCT DESIGN, Third Edition

ISBN: 0-07-135406-9

Copyright © 2001 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2002-1257

图书在版编目(CIP)数据

产品设计材料手册/(美)哈珀(Harper, C.A.)主编;张玉龙等译.
—北京:机械工业出版社,2003.10

ISBN 7-111-13063-4

I. 产... II. ①哈...②张... III. 工程材料—手册 IV. TB3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 083116 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍

责任编辑:陈保华 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣 张 媛

封面设计:陈 沛 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·29.125 印张·2 插页·1451 千字

0 001—4 000 册

定价:78.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

译者的话

《产品设计材料手册》是各类材料专家和产品设计专家多年来从事材料研究和产品设计工作的经验总结与智慧的结晶。将数以万计的实验数据与结果，以及实际应用的效果以结论的形式进行表达，是本手册的一大特点。本手册条理清晰、内容丰富、数据可靠、图文并茂又是其一大特点。本手册是一本实用价值很高的产品设计工具书，可供材料研究、产品设计、制品加工制造和应用的技术人员、设计人员、教学人员参考使用。

为将本手册高质量地翻译完毕，我们组织了长期从事材料研究和产品设计的高级工程技术人员进行了认真的翻译校对，力争在忠实于原文的基础上，按照汉语表达习惯，实现译文的语言精练，通俗易懂。历经一年的时间，现将手册奉献给读者，相信会给您的研究、产品设计、制品加工和教学等工作提供一定的帮助。若本手册能为我国的材料研究和产品设计、加工与应用起到一定的促进作用，译者将感到万分欣慰。

由于原版书中采用了许多非法定计量单位，本书基本上保持原书中数据及计量单位而不作改动，故在本书最后附上了常用法定计量单位及其换算表，以方便读者进行单位换算。

参与本书的翻译人员有：张玉龙（第1、4、5、6、11章），张广玉（第3、7、10章），潘士兵（第2章），郝向阳（第9、12章），郝冬梅（第8、13、14章），田淑玲（第6、8、12、14章），周永华（第3、7、10章），吴苏友（第4、6、12章），张文栋（第4、5、11、13章），张喜生（第1、2章），肖志力（第4、5、6章），马卫东（第6、10章），梁英（第1、2、3章）。

由于水平有限，文中错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

译者

2003年5月

序 言

材料在产品设计中始终起着重要作用，在现代高科技的世界内，材料往往是产品成功的关键。实际上不夸张地说，要实现当代产品的高性能化和可靠性最关键的限制因素是材料。下一代产品要求用新材料或改性材料制备，这种需求往往会成为发明的源泉，靠材料科学家来完成。

然而，仅制备出性能卓越的材料还远远不够。由于大多数产品设计人员为机械和电气工程技术人员，而材料属于化学学科范畴，其技术语言上的明显差别会造成关键知识和理解上的技术鸿沟。成功的产品设计要求，首先要沟通这一技术语言障碍鸿沟；其次是为产品设计人员提供为产品设计选择最佳材料所需的技术资料、数据和指南。编写《产品设计材料手册》的目的就是为了使产品设计人员了解材料的众多种类；运用这些技术资料、数据和指南为其所设计产品进行最佳材料选择。为此，本手册是在各种材料实践数据原始资料基础上编写而成的。书中含有可代表产品重要变量作用的一系列材料性能和使用性能数据。此外，在每章结尾还附有非常有用的参考文献。

为了方便读者，《产品设计材料手册》各章均作了良好编排。前三章是金属材料，第1章为重要的黑色金属；第2章是应用广泛的铝及其合金；第3章为第1、2章未包括的其他材料。第4、5、6章为聚合物材料，首先是塑料材料，其次是增强塑料——复合材料，最后为橡胶聚合物及其弹性体材料。而后的两章为无机非金属材料，即陶瓷和玻璃。紧接着的两章是关于表面处理的材料，首先是有机表面处理和喷漆，其次则是电镀金属材料。

第11、12章则是两章有关材料连接的内容，第11章是塑料的连接，介绍了各种连接工艺和权衡选择法；第12章是应用价值较大的胶粘剂粘接材料、粘接技术、工艺及权衡选择法。

手册的最后两章是现代产品设计应用重要性日益增加的内容，首先是材料检验与材料可靠性，最后则是材料回收利用。材料回收利用不仅对产品最佳设计有影响，而且对环境保护有影响，甚至还涉及到法律问题，故而属特别重要的内容。

本手册可谓技术全面、综合性强的参考工具书，可供产品设计人员、材料研制人员和材料应用人员参阅。本手册也是各种标准实验室使用的良好工具书。

本手册各章作者都是本专业领域的资深专家，具有十分丰富的实践经验，将他们组织在一起为读者奉献出如此全面系统的知识，是其他组织不易办到的，

在此仅向各位作者表示深深感谢。

期望《产品设计材料手册》能受到读者欢迎，更好地服务于读者。欢迎提出宝贵意见与建议。

Charles A. Harper
Technology Seminars, Inc.
Lutherville, Maryland

目 录

译者的话

序言

第1章 黑色金属 1

- 1.1 引言 1
- 1.2 铁的结构 1
- 1.3 炼钢 4
- 1.4 碳钢和合金钢 7
- 1.5 合金钢的选择 20
- 1.6 选择与规格 28
- 1.7 黑色金属的焊接 38
- 1.8 结语 54
- 参考文献 54

第2章 铝及其合金 55

- 2.1 引言 55
- 2.2 合金及热处理标号体系 57
- 2.3 物理性能 96
- 2.4 力学性能 107
- 2.5 耐腐蚀性能 139
- 2.6 产品形式 150
- 2.7 制造 166
- 2.8 连接 173
- 2.9 精加工 191
- 2.10 术语 199
- 参考文献 201

第3章 钛 203

- 3.1 引言 203
- 3.2 冶金学基础 204
- 3.3 合金的分类与概述 210
- 3.4 性能 214
- 3.5 腐蚀与耐腐蚀性能 221
- 3.6 低温用合金 225

- 3.7 高温用合金 227
- 3.8 浇铸合金 231
- 3.9 沉淀弥散强化合金 232
- 3.10 可锻造合金的加工 233
- 参考文献 244

第4章 塑料 246

- 4.1 引言 246
- 4.2 塑料的性质 248
- 4.3 聚合物结构和聚合反应 250
- 4.4 塑料加工方法和设计指南 250
- 4.5 热固性塑料 256
- 4.6 热塑性塑料 268
- 4.7 玻璃纤维增强热塑性塑料 293
- 4.8 塑料薄膜与胶带 294
- 4.9 塑料表面处理 295
- 4.10 材料选择 296
- 参考文献 313

第5章 复合材料及制备过程 316

- 5.1 引言 316
- 5.2 材料体系 319
- 5.3 层取向、对称和平衡性 332
- 5.4 类无向性层压板 335
- 5.5 分析 336
- 5.6 复合材料断裂与设计容限 338
- 5.7 复合材料制造技术 346
- 5.8 复合材料力学概述 366
- 5.9 复合材料结构设计 367
- 5.10 损坏容限 371
- 5.11 复合材料的修复 373
- 5.12 胶粘剂粘接与机械紧固 375
- 5.13 环境效应 379

5.14 复合材料的检验	380	7.5 陶瓷基材的力学性能	455
5.15 复合材料安全问题	384	7.6 陶瓷的电性能	459
参考文献	385	7.7 陶瓷基材的金属化处理	462
第 6 章 橡胶与弹性体		7.8 陶瓷材料	470
材料	388	7.9 陶瓷基复合材料	475
第 1 部分 天然橡胶和合成		7.10 陶瓷及其复合材料的加工	
橡胶	388	成形	480
6.1 发展史	388	参考文献	482
6.2 聚合物的性能	389	第 8 章 无机玻璃	484
6.3 通用橡胶	390	8.1 市售玻璃类材料	484
6.4 特种橡胶	391	8.2 特种玻璃	509
6.5 热塑性弹性体	393	8.3 玻璃制造 I: 玻璃的熔融	537
6.6 耐热和耐油性表征	393	8.4 玻璃制造 II: 玻璃的成形	548
6.7 其他性能	398	8.5 淬火与回火	558
6.8 橡胶的组成	406	8.6 玻璃纤维	573
参考文献	411	8.7 通信用光纤	584
第 2 部分 弹性体材料与加工	412	8.8 有关说明与致谢	589
6.9 引言	412	参考文献	589
6.10 热塑性弹性体 (TPE)	412	第 9 章 涂层与表面处理	593
6.11 聚氨酯热塑性弹性体		9.1 引言	593
(TPU)	418	9.2 环境与安全	595
6.12 聚酰胺	425	9.3 表面制备	596
6.13 可熔融加工橡胶 (MPR)	427	9.4 涂层的选择	599
6.14 可热塑加工的硫化橡		9.5 涂层材料	617
胶 (TPV)	428	9.6 施工方法	628
6.15 合成橡胶 (SR)	432	9.7 固化	634
6.16 天然橡胶 (NR)	441	9.8 结论	635
6.17 结论	442	参考文献	636
参考文献	443	第 10 章 金属的表面处理	
第 7 章 陶瓷与陶瓷复合		与加工	637
材料	446	10.1 基本原理	637
7.1 引言	446	10.2 金属的表面处理与加工	638
7.2 陶瓷的制造	447	10.3 涂覆铝的方法	639
7.3 陶瓷的表面性能	449	10.4 涂覆镉的方法	654
7.4 陶瓷材料的热性能	452	10.5 涂覆铬的方法	659
		10.6 涂覆铜的方法	664

10.7 涂覆铜合金的方法	668	控制	813
10.8 涂覆锡及其合金的方法	670	参考文献	819
10.9 涂覆银的方法	675		
参考文献	677		
第 11 章 塑料连接材料与工艺	688	第 13 章 材料检验	822
11.1 引言	688	13.1 引言	822
11.2 塑料材料的种类	689	13.2 化学表征	828
11.3 塑料连接工艺的类型	690	13.3 热分析	833
11.4 直接加热焊接	694	13.4 耐热性测试	837
11.5 间接加热焊接	701	13.5 力学性能试验	839
11.6 摩擦焊接	704	13.6 其他检验	843
11.7 溶剂溶接	714	推荐读物	849
11.8 机械连接法	717	参考文献	849
11.9 常用塑料组装工艺推荐	723	第 14 章 材料的回收利用 ...	850
11.10 塑料连接方法有关信息的获取	730	14.1 引言	850
参考文献	730	14.2 可循环材料的收集	861
第 12 章 用作胶粘剂的塑料与弹性体	732	14.3 黑色金属的回收利用	863
12.1 胶粘剂简介	732	14.4 铝的回收利用	865
12.2 胶粘剂接头设计与试验	740	14.5 其他有色金属的回收利用	867
12.3 表面处理	754	14.6 玻璃的回收利用	867
12.4 胶粘剂的类型	778	14.7 纸的回收利用	869
12.5 胶粘剂的选择	791	14.8 塑料的回收利用	882
12.6 环境效应	804	14.9 橡胶的回收利用	908
12.7 胶粘剂接头工艺与质量		14.10 纺织品的回收利用	909
		14.11 木材的回收利用	910
		参考文献	911
		附录 常用法定计量单位及其换算表	919

第1章 黑色金属

J. Donald Gardner

Northrup Grumman Electronic Sensors and Systems Sector

Columbia, Maryland

1.1 引言

早在希腊时代，一个重大的技术进步便是铁的广泛应用。所研制的冶炼炉可达到金属熔化的高温。大约在公元前 500 年，制铁技术已传播到整个世界。在炭火上用锤击打便向铁内添加了少量的碳，这样便制成了早期的钢。采矿业自然也变得十分发达，其中还采用了泵技术，以防矿井内发生水灾。与此同时，弓、剑和铠甲等之类的兵器制造技术也得到发展。

钢材普及的主要原因是其制造、成形和加工成本低廉，所用的两种原材料（铁矿石和废钢）资源丰富；且力学性能优异。由于钢材质量不断得到改进，使用它制造的产品质量也在许多方面得到改进，使产品的使用寿命质量远远好于其他材料。

铁制工具起初被用于构成其他必需品，为后来的工业革命和农业机械化做出了贡献。用铁和钢材制造的机床和其他设备改变了城市和农村的经济状况。

为建立世界性永久的经济基础结构，使钢材成为应用最为广泛的材料。钢材可用来制造从大头针到摩天大厦各种物品。除此之外，建造和制造上述物品所用的工具也是用钢材制成的。

目前美国生产的绝大多数钢铁产品均被运送到国内的五大消费市场。汽车工业占据了最大的份额，约占总产量的 20%。大约有 20% 的

钢材被运往钢铁服务中心的库房内，在那里以棒材或板材形式出售，或者经再加工，销售给特种工业应用。直接或间接地用于建筑行业的钢材量约占 15%。制罐和其他容器制造要消耗掉钢铁产品产量的 6%。农业和电气设备制造商要从炼钢厂直接购走 6% 的数量。

钢铁工业与其他金属工业一样，其标准化程度极高。由于钢材标准化程度高，所以，设计人员仅需关心其选定的合金和产品形式、热处理种类等，而对钢材最终供应厂家很少关注。钢铁产品的规格以及检验程序，在绝大多数工业化国家一般在通用标准中均包括此内容。这样的标准化程度，目前在其他几乎所有的有机材料中均不存在。

1.2 铁的结构

1.2.1 相图

在辞典中，对相这一术语解释不尽相同。就本章而言，以化学定义为固相、液相或气相的均相物质，并依此与多相体系形成明显的区别。

这一定义最简单和最常见的例子之一乃是水 (H_2O)。水 (H_2O) 在 $0^\circ C$ 或 $0^\circ C$ 以下温度为固相（冰）；在海平面压力下 $0 \sim 100^\circ C$ 的温度时为液相（水）；而在 $100^\circ C$ 或高于 $100^\circ C$ 时为气相（水蒸气）。

金属及其合金也有固相、液相和气相之分。除极个别物质（汞）外，在室温下金属为固相。有极少数金属及其合金会由固相转

化为液相。

1.2.2 相变

在绝大多数简单的物质中,相非常直观,即固、液、气态(如上所述)。对所有的金属及

其合金而言,这又不太现实。某些纯金属在固相态时会根据温度变化,存有一个以上的相。合金的变化更大,在固态时会含有几种相态。

表示各种相通常是采用化学元素符号和希腊字母,参见图 1-1 铁-碳相图。

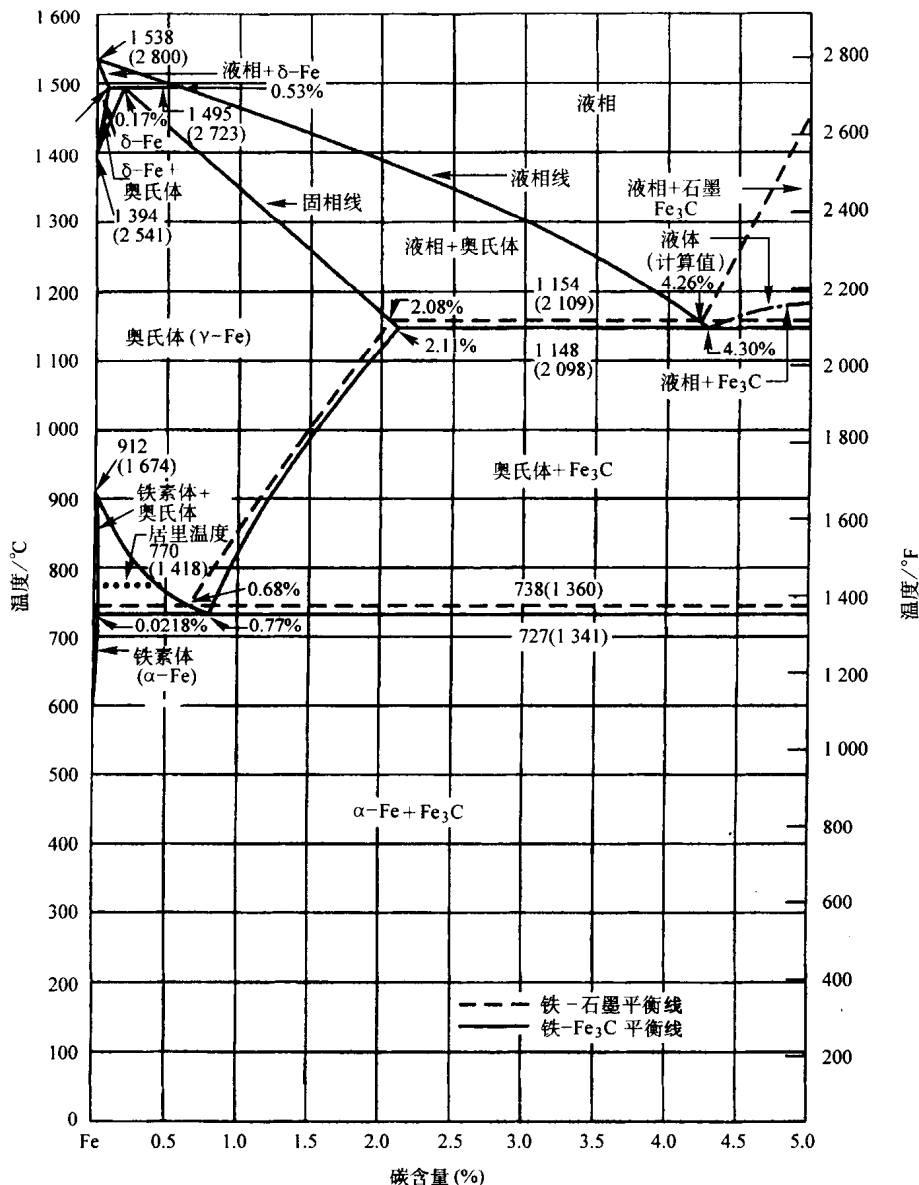


图 1-1 采用美国钢铁学会与美国汽车工程师学会 (AISI-SAE) 命名体系所表示的铁-碳平衡相图中的主要组织

水在接近其沸点温度时成为不稳定的流体,而绝大多数的金属及其合金在相当高的温度下,会由固相转变为液相。许多金属在540~1540°C(1000~2800°F)范围内才经历这一变化。在更高的温度下,金属及其合金才能转化为气相。

在金属加热过程中,必须考虑到金属由固相向气相的转变(升华),在金属进行真空处理时要格外注意,这是因为其中存有相当低的蒸汽压的缘故。最典型实例是不锈钢在真空冶炼炉中进行加热。在真空冶炼炉中,当采用高温和高真空(压力为 10^{-6} Torr)时,铬损失往往过量。

有关冶金相变定义术语如下:

(1) 共晶(体): ①等温(恒温)可逆反应,在这一反应中,液体溶液会随冷却转换成两种或更多种初始混合固体,所形成的固体数与体系中成分数相同。②合金具有平衡图中共晶点所示的成分。③通过共晶反应生成含有混合固体成分的合金结构。

(2) 共析(体): ①在等温可逆反应中,固体溶液可根据冷却作用,转化成含有两种或更多种的最终混合固体,形成固体的数与体系中成分数相同。②一种合金具有平衡图中由共析点示出的成分。③通过共析反应可生成含有混合固体成分的合金结构。

(3) 金属间化合物: 合金体系的中间相具有均质性范围窄,化学计量性相当简单的特点。其原子结合性质多样,可呈金属型原子结合,也可呈离子型原子结合性质。

(4) 包晶体: 在等温可逆反应中,液体相可与第二固体相发生反应,在冷却作用下生成单一(和不同)的固体相。

(5) 包析体: 在等温可逆反应中,一固体相与第二固体相发生反应,在冷却作用下,生成单一(和不同)的固体相。

1.2.3 铁的结晶学

同素异构性是固体金属的性质,可根据

温度和能量水平的高低,假定为多于一个晶格布局(晶体结构)。某些纯金属为同素异构体。在某些情况下,同素异构性对热处理不是那么重要。但是,对铁和钛而言,其同素异构性极为重要,可用作通过热处理手段研制特种性能的机理特性。

最简单的相图是用来描述纯金属的表示形式。其表示形式为直线,通常在室温起线,并加以延伸,或延伸到金属的熔融温度。由于铁是各种钢材的主要成分,因此,通常均认为纯铁的相图极为重要。铁原子在室温下为体心立方结构(bcc),将这一相称为 α -铁。这种相态的铁受磁铁吸引。经加热温度升至770°C(1418°F)时,体心立方结构(bcc)的 α -铁结构就变得无磁性,但不能将这一现象看作相变。

当温度升至912°C(1674°F)时,其原子排布变为面心立方(fcc)相态,则称为 γ -铁。这一相变过程中伴随着热容量和热吸收的降低(转化热)。温度未达到1394°C(2541°F)之前,面心立方相仍占优势,但当温度升至1394°C(2541°F)时,就会发生第三次相变,其原子排布又返回体心立方结构,将这种铁称之为 δ -铁。尽管 α 和 δ 相结构相似,均为体心立方结构(bcc),但是,由于一个处于 γ 范围之下,而另一个处于 γ 范围之上,故而,各自有自己的叫法。 δ 相熔化在1530°C(2800°F)发生。

对于绝大多数的黑色合金加热而言,处于 γ 范围以上的那些金属并不重要。纯铁的晶格的变化具有可逆性的;也就是说,当液相冷却至1538°C(2800°F)时,首先转变为 δ -铁(bcc),然后,在1394°C(2541°F)时再转化为 γ -铁。

两种或更多种金属在液态结合,而后使之固化,会出现一系列的问题。许多情况下,由于两种金属总体上相互不相容,固化的块体也未真正的合金化,而只是简单的混合物。金属混合物典型的例子便是铁(或

钢)与铅的混合物。铅根本与铁不相容,如果将铅添加到铁熔体中去,并使之固化,铅粒子便分散于固化的铁基体内,故而形成了真正的混合物。

反之,两种金属在液相以及固相相互完全相容。这种合金体系的典型例证便是铜和镍。另外,一种金属与另一金属固态相容性会随温度的变化而发生较大的变化。很大程度上取决于冷却速率,而生成多相结构。在这种情况下,若一金属溶于另一金属中去,其结果就形成与上述铅/铁混合物截然不同的合金。非金属溶于金属中也可生成合金,如铁与碳合金——钢。

铁由 γ 相(fcc)冷却至 α 相(bcc),也会释放出热量。 α 相在室温和低于室温和温度属恒定不变的。在相变和磁变过程中,由于会发生冷却放热和加热吸热现象,所以,在相图中会出现等温线。

1.3 炼钢

1.3.1 炼钢的冶金法

钢是铁与碳的合金,然而,这一表述必须根据碳含量极限加以定性。铁碳合金在室温下,碳含量少于0.005%时,则为纯铁。纯铁质软、延展性好,但脆性大。由于其强度低,不能作为工程材料应用,但可用于特殊场合,如磁铁装置和搪瓷钢(像电解浴管一样的涂有玻璃涂层的钢)。从商业观点上看,钢内含碳最低极限为0.06%。而最高极限为2%,含碳量大于2%的铁碳合金可看作是铸铁。高碳量可使铁碳合金变得脆性太大,而不能轧制、成形、剪切或采用其他制造技术成形,所以,这种合金惟一的加工成形的方法是浇铸。因此,钢是含碳量为0.06%~2.0%之间的铁碳合金。

典型的生铁,其含碳量为4%~5%,因其含碳量太高,无法作为钢材使用。除含碳量高以外,生铁中还含有大量的硅、硫、磷和锰等元素,以及来自铁矿石中的非金属杂

质。

1.3.1.1 精炼工艺

早期的酸性转炉采用持续向铁液中吹空气的方法,把生铁冶炼成钢。今天,采用下列三种基本工艺,来完成生铁成钢的冶炼工艺过程。

(1) 氧气顶吹转炉。氧气顶吹转炉20世纪60年代引入美国。炼钢工艺包括向大型钢水包中添加大约25%的废钢和75%的铁液。把氧枪下落入铁液中进行吹氧。大量的压缩氧气被吹入铁液中,这一反应热为冶炼工艺提供了热量。转炉不再继续加热。吹入足够氧气后,再将含碳量降至所要求的水平,便可撤回氧枪,倾斜转炉倒出铁液。冶炼时间很短,并采用尖端计算机设备分析其成分,300t的钢25min便冶炼完毕。

氧气顶吹转炉(BOF)冶炼时间短的特点,使竞争性的炼钢厂为了经济的需要也得挑选这一工艺。自20世纪60年代以来,美国的钢铁工业发生了演变,使所有的大吨位钢产品均采用氧气顶吹转炉生产。

(2) 平炉。自20世纪转折点以来,平炉就成了钢铁工业的主要工具,一炉可生产多达450t钢,自从弃用了酸性转炉法以来,美国大部分的钢材生产均采用平炉。平炉所用的原料是铁液和等量废钢,铁液用热装车送入炉内。将原料装入浅矩形炉膛内,并在铁液上方输送大量的空气,使碳在要冶炼的原料中产生氧化反应,且将氧枪也放入铁液中,以帮助降低含碳量。待装料冶炼到所需要的含碳水平,铁水上层形成钢渣后,便进行出渣操作,并将精炼钢液引入钢液包内。随后,再钢液浇铸到钢锭模内。300t的装料要冶炼8h,便可浇铸。

(3) 电炉。电炉中通常装填废钢,并将电极放入靠近装料,通过在电极之间形成的电弧完成装料熔化。电炉耗能大,但与平炉相比,结构简单、体积小、冶炼时间短。电炉可利用枢轴转动倒出钢水。电炉生产的钢

比平炉生产的钢纯度更高。直到20世纪70年代,绝大多数电炉用来生产特种钢,如工具钢、轴承钢和不锈钢。电炉也常被小型钢厂选用,生产那些批量小的钢产品。

1.3.1.2 精炼工艺

随着对产品可靠性的日益重视,众多工业部门拟定专门的技术规范,要求关键部件用特种钢必须采用专门的冶炼工艺制备。例如,对材料强度特性研究表明,钢材的疲劳寿命和韧性与钢材内非金属夹杂物的尺寸和体积成正比。这些夹杂物包括在冶炼和精炼中形成的氧化物、硅酸盐、硫化物或氧化钼。通过在钢材端部取样,并腐蚀,可测得钢中非金属夹杂物的等级。钢中夹杂物在酸中腐蚀后会出现凹点。还有钢材微观检测标准,它是利用显微检验手段测量抛光的钢样品中的非金属杂质含量。在钢材采购规范中列有这种非金属夹杂物等级值,这样,设计人员可选择具有一定纯净度的钢材。

有两种主要的钢材精炼工艺,每种工艺有多种选择方案。

真空精炼或重新冶炼工艺:

- 1) 真空去氧 (VD);
- 2) 真空电弧冶炼 (VAR);
- 3) 真空感应冶炼 (VIM);
- 4) 电子束精炼 (EBR)。

化学反应冶炼工艺:

- 1) 氩氧脱碳;
- 2) 电渣重冶炼 (ESR);
- 3) 钢水包精炼 (LR)。

真空精炼:在真空精炼中,钢材通常用转炉和电炉进行冶炼,另外还采用第二种工艺技术,在钢熔化成钢液时使其暴露于真空中。溶解的气体升至钢液表面,并在真空中消失。随着充分的搅拌和混合,固体夹杂物也被蒸发出来,利用真空作用将其消除。各种工艺之间的差别是实现熔化和搅拌的方法不同。脱氧 (VD) 通常靠氧枪搅拌熔化的钢水完成,并将钢水浇铸到大型铸模内。真

空电弧重熔 (VAR) 是一种最流行的技术,它包括从顶部吹氧转炉 (BOF) 或电炉中向圆筒形铸模浇铸钢水的技术。将短轴焊接到这种铸锭上,通过在铸模电极与水冷铜模之间形成电弧,可使铸锭在真空中再熔炼。铸锭就变成了庞大的焊接电极。由于这一工艺能量特别高,所以,在除去非金属杂质方面十分有效。随着熔滴在电弧中传递,每一熔滴均能暴露于真空中。

真空感应冶炼 (VIM) 是采用冶炼废钢或钢液的工艺。将装料放入坩埚内,采用高频感应电流加热使其冶炼。这样可产生熔体的对流混合。整个坩埚均处于真空中,铸锭也在真空中浇铸。

在电子束精炼中,钢液通过浇口盘 (槽) 浇铸到铸模中。浇口盘和铸模均处于真空状态。熔化金属流到浇口盘时,受电子束作用,蒸发掉杂质,这样,便在真空中以蒸气的形式将杂质除掉。

与真空精炼机理不同,化学反应工艺采用添加化学物质去除杂质。化学反应工艺不在真空中进行。在氩氧脱碳 (ADD) 工艺中,可将氩和氧引入。装有钢水的钢包中。氧的作用是降低含碳量 (脱碳),并降低硫及其他杂质含量。而氩可明显地使其进行充分搅拌,分散氧化物,使其颗粒更小些。氩还可促进溶入气体的除去。

电渣精炼:电渣精炼不在真空中进行,其他工序与真空电弧重熔 (VAR) 工序相同。可将真空感应熔体或电炉钢水铸成钢锭。这类钢锭上并焊接有短轴;钢锭成为电极中,在水冷却铜模中进行电弧再炼。钢锭中的熔化金属通过熔融的熔渣去除杂质完成净化作用。在电渣再熔铸模工艺中 (ESR),其缩孔极小。

1.3.1.3 钢材专用术语

钢材挑选应根据应用要求,做好材料性能信息和销售商信息的咨询工作。如果设计人员要了解手册信息以外的知识,熟悉描述

钢铁厂生产工艺操作所用的术语很有必要。现有那么多术语，真让人眼花缭乱。现将钢产品术语及其意义说明如下。

碳钢：把碳作为主要强化元素的钢称为碳钢。其他的合金元素百分含量很小。锰最大含量应限制在 1.65%；硅的含量最大应在 0.60%；铜的含量最大应为 0.60%；而硫和磷两种元素的最大含量应在 0.05% 以内。

合金钢：合金钢是除含有碳元素外，还要添加其他元素的钢种，然而，从整体用途上来看，合金钢中合金化元素的总体添加量应少于约 5%，这种钢主要适于结构应用。

沸腾钢（不脱氧钢）：属轻微脱氧的钢种，钢锭带外壳硬化，杂质含量低，纯度相当高。由于此钢种表面洁净度高，即使在恶劣的成形条件下成形，此钢种仍保持良好的表面质量。

镇静钢：属全脱氧钢种，通常采用化学添加的方法冶炼。此钢种的偏析性小于沸腾钢。其力学性能与钢产品相比可预测性好。

连铸钢：此钢在连续铸钢浇铸设备上生产，并用添加铝的方法脱氧。

镀锌钢为镀锌的钢产品，通过浸渍法镀锌。

镀锌层扩散处理钢：属镀锌并进行热处理的钢种。在镀锌钢中常常存在镀层粘接问题。经热处理可使镀锌钢产生氧化层，从而改善其粘接质量。

钢板：属厚度为 0.25 ~ 6.4mm，宽度 610mm 的轧制钢。

棒材：属热轧或冷轧的圆、方、六角、矩形和小尺寸异型钢种。圆形棒钢直径可小至 6.4mm，扁钢最小厚度 5.0mm；异型钢截面的最大尺寸应小于 76mm。

卷板：其厚度在钢板或带钢厚度范围内的轧制钢。

扁钢：属小尺寸热轧或冷轧制矩形钢，往往采用冷轧制法将圆钢加工成矩形钢。

线材：属具有不同直径的热拉或冷拉成卷圆钢，其直径通常不超过 6.4mm。

异型钢：热轧工字钢、槽钢、角钢、宽法兰梁钢和其他结构的异型钢。这种钢的截面上至少有一尺寸要大于 76mm。

镀锡钢：厚度为 0.1 ~ 0.4mm 的冷轧钢。其表面可涂敷锡层，也可不涂敷。

高速切削钢：含有足够量的硫、铅、硒和其他元素的钢种，这种钢比未处理的钢更容易加工。

深冲钢：为满足深拉延伸要求，而专门生产或选用的热轧或冷轧钢种。

M 钢：在名称上下标有 M 的钢种。此钢不能作为结构材料应用，属低质量钢材。

商品钢：是用标准的沸腾钢、镇静钢、连铸钢或半镇静钢生产的钢种。这种钢偏析明显，成分变化大；绝大多数的品级很难保证其力学性能要求。

H 钢：在名称下角下标有 H 的钢种；这种钢在热处理时，应保证硬化到一定深度。

B 钢：冶炼时添加少量硼作为硬化剂制成的钢种。在此钢牌号中将 B 插在前两数字与后两个数字之间（如 $\times \times B \times \times$ ）。

酸洗：利用酸去除热加工钢上的氧化物和氧化皮。

回火轧制：在冲拉或成形时，许多钢种呈现不合适的应变曲线。回火轧制是对退火材料进行最后一道工序操作，即进行小量轧制复原，以消除延伸应变。有时运用这一工艺来改进钢材产品表面质量。

平整量（TEMPER）：薄板或带钢的冷轧压缩量。

E 型钢：四个数字名称上角标有 E 的，由电炉冶炼的钢种。

1.4 碳钢和合金钢

1.4.1 碳钢与合金钢的基本定义

碳钢是以碳为主要强化元素的简单的铁碳合金。美国钢铁学会 (AISI) 规定碳钢是那种碳含量最高为 2%, 除残余脱氧元素 (如铝) 外, 还含有不大于 0.6% 的硅、不大于 0.6% 的铜和不大于 1.65% 的锰元素的钢种。碳钢使用的其他术语还有碳素钢、低碳钢、软钢和普通钢。碳钢占据了钢产量的最大份额。几乎所有的产品形式都有碳钢产品, 如片材、带材、棒材、板材、管材和线材等形式的碳钢产品。碳钢可用于大批量生产的产品, 如汽车和工具, 而且在基板、壳体、滑槽、结构部件和数以百计的不同零部件的设计制造中起了重要作用。

合金钢并不是精确的术语。意思是指除碳钢以外的任何钢种。合金钢术语公认的使用范围是用于那些含碳量达 1% 和总合金含量低于 5% 的一类钢材。而美国钢铁协会规定合金钢应是有一项指标或多项指标超过下列极限的钢种, 即锰含量为 1.65%, 硅含量为 0.60%, 和铜含量为 0.60%。如果对其他元素含量有特殊规定, 如铝、铬 (含量达 3.99%), 钴、钼、镍、钛和其他元素也规定含量, 这类钢种仍是合金钢。由于对这种钢进行了热处理, 改善了其耐磨性、强度和韧性, 所以广泛地用于结构部件, 是轴、齿轮和手动工具 (如锤和凿子) 制造使用的钢种。

低合金高强度钢与合金钢有相同之处, 但还不相同。这一术语是用于描述为获得理想力学性能而添加某些化学元素的钢。这类钢材的某些品级还需添加合金物质, 以改进钢材的耐大气腐蚀性。这类钢的各种产品均得到应用, 但应用量主要集中在片材、棒材、板材和异型结构钢品种上。此钢的屈服强度通常在 289~482MPa 范围内, 抗拉强度为 414~621MPa。使用这类钢材的主要目的

是通过提高强度而降低重量。用这种钢可制成更小截面尺寸的制品。

除了碳钢、合金钢和低合金高强度钢外, 还有工具钢、压力容器和锅炉用钢、热处理 (淬火和回火或正火) 钢和超高强度钢。这些钢均可用于工程设计, 然而, 最重要的钢种无疑还是碳钢、低合金钢和工具钢。

合金钢符号的表示方法

在钢铁工业过去的 30 年间, 在合金钢研制领域进行了大量的研究活动。在这一期间, 先后研制出低合金高强度钢、淬火和回火钢和某些超高强度钢等。这些钢种的研制成功满足了工业部门减重和提高使用性能的需要, 在某些情况下, 也降低了成本。从设计人员的观点上看, 钢种的分类很难满足选材方便的需要, 这也成为钢铁工业的一大缺陷。目前钢材体系的常用钢种分类, 是按钢种在结构件中的应用性质而定的。图 1-2 表示出了这一分类方法。尽管出现了许多的特种钢, 但是主要的钢种仍是, 至少目前一个阶段仍是符合 ASTM、AISI-SIE 的优质碳钢和合金钢。好在这些钢种具有比较明确和有序的表示方法。现仅对这一表示方法体系加以说明, 并对图 1-2 中所示的其他的钢材表示方法进行必要的评价。

1.4.2 碳钢和合金钢

在美国碳钢和合金钢最重要的表示方法体系是由美国钢铁学会 (AISI) 和汽车工程师学会 (SAE) 所采用的表示方法体系。这种表示方法体系通常只有 4 个数字组成。第 1 个数字表示主要合金元素, 例如, 第 1 个数字为 1 是表示碳是主要合金元素。在某些情况下, 第 2 个数字是已知系列中主要合金化元素的相对百分比。 $2 \times \times \times$ 系列的钢是指主要元素为镍, $23 \times \times$ 钢约含 3% 的镍, $25 \times \times$ 钢约含 5% 的镍。最后 2 个数字 (有时最后 3 个数字) 表示碳的百分含量, 1040

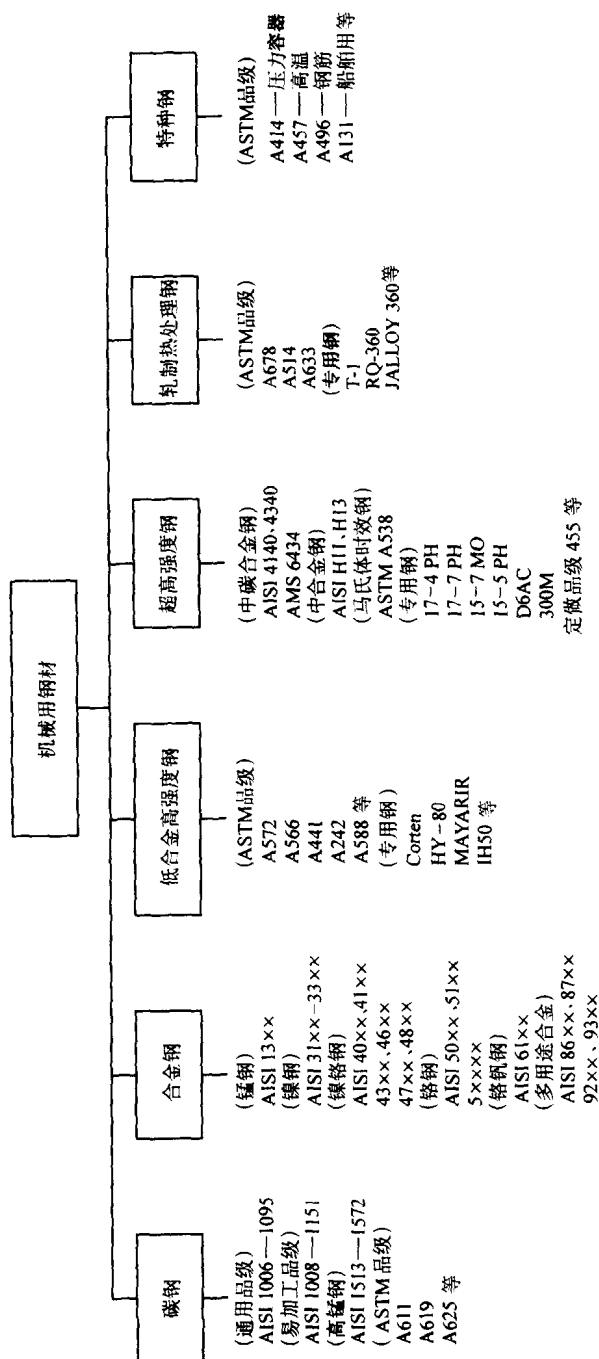


图 1-2 机械用钢的种类