

盛国裕等 编著
姜 左 主审

金属材料 及其 试验方法



 中国质检出版社

金属材料及其试验方法

盛国裕 等 编著

姜 左 主审

中国质检出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及其试验方法/盛国裕等编著. —北京:中国质检出版社,2012
ISBN 978-7-5026-3593-0

I. ①金… II. ①盛… III. ①金属材料—试验 IV. ①TG14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 051167 号

内 容 提 要

本书以金属材料为测试对象,以国家最新标准为依据,系统地介绍了常用金属材料的牌号、性能与用途,金属的晶体结构及其在外加载荷作用下的变化,以及由此产生的各种失效现象与金属材料失效的微观机理。重点介绍了各种失效抗力的试验方法和各种力学性能参量和指标的测试方法,还介绍了金属材料内部化学成分和金相组织的分析方法,以及金属表面和内部缺陷的检测技术。

本书可作为专业技术书籍供有关技术人员参考,也可作为教材和参考书供高校相关专业师生教学使用。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 610 千字

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月第一次印刷

*

定价 45.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010) 68510107

前言

• FOREWORD •

当今世界在工程上使用的材料品种繁多、性能各异，据有关资料粗略统计，目前世界上的材料总和已达 40 余万种，并且每年还以约 5% 的速率增加。而其中应用最广的是金属材料，特别是黑色金属（钢铁），其使用比例占整个金属材料的 90% 以上。由于金属材料具有良好的使用性能和工艺性能，所以今后在相当长的时间内，金属材料仍然将会在机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中被广泛应用。

工程领域中使用的材料除了结构材料，还包括一些用于制造工具的材料和具有特殊性能（如耐蚀、耐高温等）的材料。而任何一种工程材料，不管是金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料，还是其他特殊材料，能否在工程中得到实际应用，取决于该材料是否具有良好的工艺性能和使用性能。材料的使用性能主要包括物理性能、化学性能和力学性能。对于工程领域使用的材料，其中最重要的是力学性能。材料的力学性能是指材料在外加载荷（如静载荷、冲击载荷、交变载荷等）的作用下，或在载荷与环境因素（温度、介质和加载速度）的联合作用下，抵抗变形和断裂的能力。当材料对变形和断裂的抵抗力与其服役条件不相适应时，则材料将失去预期的使用功能而损坏，即产生所谓的“失效现象”。常见的失效现象有过量弹性变形、过量塑性变形、断裂、磨损、疲劳、蠕变等。为此，材料的力学性能又可称为材料的失效抗力。因篇幅有限，所以本书对材料的工艺性能、物理性能和化学性能不做介绍。

材料力学性能的优劣通常用力学性能参量（包括强度、硬度、塑性、韧性和耐磨性等）来衡量，具体可通过力学性能指标（表征材料力学行为的力学参量临界值或规

定值，如弹性极限、疲劳极限、蠕变极限等）的测试来评定。此外，因金属材料的力学性能主要取决于材料内部的化学成分、组织结构、表面和内部缺陷等内在因素，所以也可通过化学成分分析和金相分析，对金属材料的内在质量及其力学性能进行评价。

为此本书以金属材料为测试对象，以国家最新标准为依据，系统地介绍了常用金属材料各种力学性能参量和指标的测试技术，以及金属材料的化学成分、金相组织、表面和内部缺陷的分析和测试方法。此外，还介绍了常用金属材料的牌号、性能与用途，金属材料内部的晶体结构及其在外加载荷作用下的变化，以及由此产生的各种失效现象与金属材料失效的微观机理。同时，还介绍了各力学性能参量和指标的内在本质，以及它们之间的相互关系。

本书的特点是语言简练、通俗易懂，内容覆盖面广、信息量大，系统性和实用性强，同时注重最新国家标准在测试技术中的全面贯彻，由此改变了以往专业理论知识与国家测试技术标准结合不够紧密的状况。因此，本书既可作为专业技术书籍为有关技术人员提供参考，也可作为教材和参考书供高校相关专业师生教学使用。全书主要由中国计量学院盛国裕副教授撰写，苏州职业大学姜左教授担任主审。参与写作的还有钱晓耀、吴敏红、车运通和郭建。参与审核的有吴小娟和楼丽容。书中的图稿由谭力群制作和修改。

由于作者的水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2012年2月

目 录

• CONTENTS •

第一章 常用金属材料的牌号、性能与用途	(1)
第一节 钢的分类和常存元素的影响	(1)
第二节 结构钢	(3)
第三节 工具钢	(10)
第四节 特殊性能钢	(16)
第五节 铸铁	(20)
第六节 有色金属	(24)
第二章 金属的晶体结构及其在外加载荷作用下的变化	(36)
第一节 晶体的基本知识	(36)
第二节 金属和合金的晶体结构	(37)
第三节 金属晶体的形貌和缺陷	(43)
第四节 金属的弹性变形	(46)
第五节 金属的塑性变形	(48)
第六节 金属的断裂	(53)
第三章 静拉伸试验	(59)
第一节 拉伸的基本概念	(59)
第二节 拉伸力学性能指标及其测定	(62)
第四章 其他静载下的力学性能试验	(73)
第一节 扭转试验	(73)
第二节 弯曲试验	(78)
第三节 压缩试验	(87)

第五章 疲劳试验	(94)
第一节 疲劳的基本概念	(94)
第二节 疲劳抗力指标及其测定	(99)
第三节 疲劳破坏机理	(104)
第四节 低周疲劳	(108)
第六章 冲击试验	(112)
第一节 金属在冲击载荷下的变形和断裂	(112)
第二节 金属夏比缺口冲击试验	(113)
第三节 多次冲击试验	(121)
第七章 磨损试验	(123)
第一节 摩擦和磨损	(123)
第二节 各类磨损的特点和基本规律	(124)
第三节 磨损试验方法	(131)
第四节 接触疲劳	(136)
第八章 断裂韧性测试	(153)
第一节 线弹性条件下的断裂韧性	(154)
第二节 弹塑性条件下的断裂韧性	(165)
第三节 断裂韧性在工程中的应用	(184)
第九章 硬度试验	(188)
第一节 布氏硬度试验法	(188)
第二节 洛氏硬度试验法	(195)
第三节 维氏硬度试验法	(200)
第四节 里氏硬度试验法	(206)
第五节 高温和低温硬度试验法	(210)
第十章 高温力学性能试验	(216)
第一节 蠕变基础知识	(217)
第二节 金属蠕变变形和蠕变断裂机理	(218)
第三节 蠕变极限及其测定	(220)
第四节 持久强度及其测定	(224)
第五节 其他高温力学性能	(226)
第十一章 化学成分分析和金相分析	(227)
第一节 化学成分分析	(227)
第二节 金相分析	(235)

第十二章 金属断口分析 (276)

 第一节 断口分析方法..... (276)

 第二节 韧性断裂的断口及其分析..... (287)

 第三节 脆性断裂的断口及其分析..... (294)

附录

 附录 A 断裂平面的确定 (304)

 附录 B 用比较器测量三点弯曲施力点位移..... (305)

 附录 C 常用的金相组织腐蚀剂 (306)

参考文献 (308)

第一章 常用金属材料的牌号、性能与用途

由于金属材料具有良好的使用性能和工艺性能,所以在工业上获得了广泛的应用。金属材料包括碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及其合金。通常将它们分为两大类:黑色金属和有色金属,其中黑色金属是指以铁和铁为基的合金;有色金属则包括除黑色金属以外的所有金属及其合金。

第一节 钢的分类和常存元素的影响

黑色金属是现代工业中应用最广泛的金属材料,它包括普通碳钢和铸铁,合金钢和其他铁合金。黑色金属的基本组元是铁和碳两个元素,故统称为铁碳合金。

一、钢中常存元素和杂质对钢性能的影响

钢在冶炼过程中,不可避免地要带入一些化学元素(如硅、锰、硫、磷、氮、氢、氧等)和少量非金属杂质物(如氧化物、硫化物、硅酸盐等),它们会对钢的质量产生较大的影响。其中硅、锰是炼钢时必须加入的,而硫、磷是无法除尽的,因此它们在钢中必然存在并被称为常存元素。

1. 硅的影响

硅是炼钢时必须加入的,它在钢中是一种有益元素。在室温下,硅能溶于铁素体,对钢有一定的强化作用。当硅在钢中的含量小于 0.5% 时,并不明显影响钢的性能。

2. 锰的影响

锰是炼钢时必须加入的,它在钢中也是一种有益的元素。在室温下,锰能溶于铁素体,对钢有一定的强化作用。锰也能溶于渗碳体中,形成合金渗碳体。当锰的含量小于 1% 时,同样不明显影响钢的性能。

3. 硫的影响

硫是随矿石及燃料带入钢中的,一般情况下,它是一种有害元素,所以它在钢中的含量要严加控制。当硫与铁在固态下并存时,主要以硫化铁形态呈现在钢中。由于硫化铁的塑性差,并产生应力集中,故硫含量较多的钢,脆性较大。此外,当奥氏体的晶界上有共晶体(硫化铁与铁)分布时,由于共晶体的熔点较低(985°C),因此钢在热压力加工时,将产生热脆性。而增加钢中锰含量则可消除硫的热脆性,因为锰与硫可形成高熔点的硫化锰(1620°C),硫化锰在晶粒内呈粒状分布,所以在高温下具有一定塑性。

热脆:是指当钢在 1200°C 高温下进行热压力加工时,由于晶界上的共晶体熔化,导致晶粒间的结合被破坏,使钢材在热压力加工过程中沿晶界开裂的现象。

4. 磷的影响

磷是随生铁带入钢中的,一般情况下,它也是一种有害元素,所以它在钢中的含量也要严加控制。因钢中的磷能全部溶于铁素体,产生强烈的固溶强化,使钢的强度和硬度增加,塑性、韧性显著降低。磷使脆性增加,并导致钢的韧脆转变温度升高,这种脆化现象随磷含量的增加而明显,特别是在低温下更为严重,故称为冷脆。

冷脆:是指钢在结晶过程中,由于磷产生晶内偏析,使晶内局部区域含磷量偏高;从而产生应力集中,导致钢材在低温下受力时发生脆化的现象。

5. 非金属夹杂物的影响

非金属夹杂物(如氧化物、硫化物、硅酸盐、氮化物等)是由于炼钢过程中,少量的炉渣、耐火材料及冶炼中反应产物进入钢液而形成。它们的存在会大大降低钢的力学性能,特别是降低塑性,韧性及疲劳强度。若非金属夹杂物在钢材内部形成偏聚,将使钢在使用时产生裂纹而突然脆断;还会导致钢在热加工时,形成纤维组织,使材料具有各向异性。

6. 氢的影响

由于钢在整个冶炼过程中与空气接触,因而钢液中会吸收氮、氧、氢等气体,它们会对钢产生不良影响,其中氢的危害性最大。它一方面使钢的脆性增加,形成氢脆;另一方面它将导致钢中产生微裂纹,形成白点。

(1)氢脆:是指随着钢中氢含量的增加,钢的塑性、韧性也逐渐下降,脆性增加的现象。

(2)白点:是指氢含量很高的钢,在冷却过程中,随着温度的下降,钢中固溶的氢逐渐从钢中析出,在位错处形成氢气团,随后在氢气和组织应力的共同作用下,形成细小的微裂纹,严重影响钢材力学性能的低倍组织缺陷。

二、钢的分类

钢是指碳含量小于 2.11% 铁碳合金,它的性能优良,价格便宜,是应用最多的金属材料,目前我国的钢产量大约为 4.5 亿吨。由于钢在高温下的固态组织为塑性很好的奥氏体,因而可通过热压力加工来改善钢锭内部的缺陷组织,提高钢的力学性能;同时将钢坯轧制成各种形状的型材来供应市场。钢的种类繁多,为了便于生产、管理、选用及研究,常常按不同的方法对它们进行分类。

(一)按钢的冶金质量分类

根据钢的冶金质量和钢中有害元素磷、硫含量,可分为普通、优质和高级优质三个等级,它们各自的磷、硫含量分别如下。

(1)普通质量钢 $W_P \leq 0.035\% \sim 0.045\%$, $W_S \leq 0.035\% \sim 0.050\%$;

(2)优质钢 W_P 和 W_S 均 $\leq 0.035\%$;

(3)高级优质钢 W_P 和 W_S 均 $\leq 0.025\%$ 。

(二)按钢的化学成分分类

根据钢的化学成分可将它们分为碳素钢和合金钢两大类;具体如下。

1. 碳素钢(简称碳钢)

按碳含量又可分为低碳钢($W_C < 0.25\%$);中碳钢($W_C = 0.25\% \sim 0.6\%$);高碳钢($W_C > 0.6\%$)。碳钢除以铁、碳为其主要成分外,还含有少量的锰、硅、硫、磷等常存元素。由于碳钢容易冶炼,价格低廉,性能可以满足一般的使用要求,因此在工业上得到广泛的应用,我国钢产量的 90% 左右是碳钢。

2. 合金钢

按合金元素含量又可分为:低合金钢($W_{MC} < 5\%$);中合金钢($W_{MC} = 5\% \sim 10\%$);高合金钢($W_{MC} > 10\%$)。另外,按钢中所含主要合金元素的种类还可分为:锰钢、铬钢、铬镍钢、铬锰钢等。合金钢是在碳钢基础上,有意加入一些合金元素而得到的多元合金钢;与碳钢相比,合金钢的性能

有进一步的提高,故应用更加广泛。

(三)按钢的用途分类

根据钢的用途可将它们分为结构钢、工具钢、特殊性能钢三大类;具体如下。

1. 结构钢

结构钢包括工程结构用钢和机械结构用钢。

(1)工程结构用钢:主要有碳素结构钢、低合金高强度结构钢等。

(2)机械结构用钢:主要有优质碳素结构钢、合金结构钢、弹簧钢及滚动轴承钢等。

2. 工具钢

工具钢包括刀具钢、模具钢与量具钢等。

3. 特殊性能钢

特殊性能钢包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢和磁钢等。

第二节 结构钢

结构钢是指用于制造各种机器零件以及各种工程结构件(如屋架、桥梁、高压电线塔、钻井架、车辆构架、起重机械构架等)的钢,它包括工程结构用钢和机械结构用钢。

一、工程结构用钢的牌号和用途

工程结构用钢是指用作工程结构件的钢,它主要有碳素结构钢、低合金高强度结构钢等。具体情况如下。

1. 碳素结构钢的牌号和用途

典型牌号有 Q195, Q215A, Q235D, Q255B, Q275 等;根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,碳素结构钢的牌号表示方法是:

“Q”+屈服强度数值+质量等级+脱氧方式+产品用途

其中“Q”是“屈”的汉语拼音字首;牌号中:以兆帕(MPa)为单位;用 3 位阿拉伯数字标注钢的屈服强度。用大写英文字母(如 A, B, C, D)表示它们的质量等级,其中 A 相当于普通, D 相当于优质。另外用英文字母(F, b, Z, Tz)来表示它们冶炼时的脱氧方式,其中: F 为沸腾钢; b 为半镇静钢; Z 为镇静钢; Tz 为特殊镇静钢。一般将镇静钢和特殊镇静钢的符号省略。此外,用汉语拼音字母表示产品的用途,参阅表 1—1。

注:专用结构钢的前缀符号参阅 GB/T 221—2008 中的表 3。

例如: Q235AF, 根据它的牌号表示方法可知:其屈服强度为 235MPa, 质量等级为 A, 是沸腾钢。

这类钢的平均碳含量在 0.06%~0.38% 范围内,冶炼比较简单,冶金质量也较差,含硫、磷较多,成本低。钢厂通常将它们轧制成钢板或各种型材(如圆钢、方钢、工字钢、钢筋等)供应市场,使用时一般不再进行锻压和热处理。它们的性能特点是:强度不高,但具有良好的焊接性能和塑性、韧性。常用来制作承受静载荷的工程结构件和焊接结构件,及受力不大的铆钉、螺钉、螺母、冲压件、渗碳件等普通机械零件。

表 1—1 牌号中产品用途的表示方法

产品名称	采用的汉字及汉语拼音或英文单词			采用字母	位置
	汉字	汉语拼音	英文单词		
锅炉和压力容器用钢	容	RONG	—	R	牌号尾
锅炉用钢(管)	锅	GUO	—	G	牌号尾
低温压力容器用钢	低容	DI RONG	—	DR	牌号尾
桥梁用钢	桥	QIAO	—	Q	牌号尾
耐候钢	耐候	NAI HOU	—	NH	牌号尾
高耐候钢	高耐候	GAO NAI HOU	—	GNH	牌号尾
汽车大梁用钢	梁	LIANG	—	L	牌号尾
高性能建筑结构用钢	高建	GAO JIAN	—	GJ	牌号尾
低焊接裂纹敏感性钢	低焊接裂纹敏感性	—	Crack Free	CF	牌号尾
保证淬透性钢	淬透性	—	Hardenability	H	牌号尾
矿用钢	矿	KUANG	—	K	牌号尾
船用钢	采用国际符号				

2. 低合金高强度结构钢的牌号和用途

低合金高强度结构钢即普通低合金钢，它是在普通碳素结构钢的基础上加入少量合金元素(<3%)而制成的。低合金结构钢的典型牌号有 Q295A, Q345D, Q390, Q420, Q460 等, 根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》，低合金结构钢的牌号表示方法有以下两种。

一种表示方法是: Q+屈服强度数值+质量等级+脱氧方式+产品用途

其中“Q”是“屈”的汉语拼音字首; 牌号中: 以兆帕(MPa)为单位; 用 3 位阿拉伯数字标注钢的屈服强度。用大写英文字母(如 A, B, C, D, E)表示它们的质量等级, 其中 E 相当于高级优质; 用英文字母(F, b, Z, Tz)来表示它们冶炼时的脱氧方式; 用汉语拼音字母表示产品的用途; 质量等级、脱氧方式和产品用途的表示方法都与碳素结构钢相同。

例如: Q345DR, 根据它的牌号表示方法可知: 其屈服强度为 345MPa, 质量等级为 D, 用作压力容器。

另一种表示方法是: 平均碳含量数值+合金元素符号+产品用途

牌号中: 以万分之一(0.01%)为单位; 用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。对于较高锰含量(0.7%~1.2%)的钢, 在牌号的碳含量数值后面加元素符号“Mn”; 普通锰含量(0.25%~0.8%)的钢则不加元素符号“Mn”。用汉语拼音字母表示产品的用途; 低合金高强度结构钢的平均碳含量计算方法如下:

钢中平均碳含量=0.01%×平均碳含量数值

例如: 20MnK, 根据它的牌号表示方法可知: 其碳含量为 0.2%, 锰含量为 1.2%~1.6%, 是矿用钢。

这类钢的性能特点是: 屈服强度比碳素结构钢提高 30%~50%, 同时仍保持良好的塑性与韧性, 通常它断后伸长率可达 17%~23%, 室温下的冲击吸收功可大于 34J, 而韧脆转变温度较低, 约为-30℃。它具有承载大、自重轻、价廉的特点, 焊接性能良好, 而耐蚀性则较好, 适合于桥梁、船

舶、大型高压容器、石化管道等抵抗大气、海水和土壤腐蚀的工程结构件。

钢厂同样将它们轧制成钢板或各种型材供应市场,产品同时保证力学性能和化学成分,因此低合金高强度结构钢大多数是在热轧、正火状态下使用,不需要进行专门的热处理。

二、机械结构用钢的牌号和用途

机械结构用钢是指用来制作机械零件的钢,主要有优质碳素结构钢、合金结构钢等。合金结构钢是在优质碳素结构钢的基础上加入少量合金元素($<5\%$)的低、中合金钢,为了适应机械零件承受动载荷的要求,它们大都是优质或高级优质钢。

按机械结构用钢的用途及工艺特点可分为渗碳用钢、调质用钢、弹簧钢、滚动轴承钢和易切削结构钢等,具体如下。

1. 渗碳用钢的牌号和用途

渗碳用钢是指经渗碳后,再进行淬火、低温回火后使用的钢,简称渗碳钢;渗碳钢的化学成分一般为低碳(含碳量 $<0.25\%$),常用渗碳钢包括碳素渗碳钢与合金渗碳钢两大类。具体如下。

(1) 碳素渗碳钢

典型牌号有 15, 20 等优质碳素结构钢,根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,优质碳素结构钢的牌号表示方法是:

平均碳含量数值+元素符号“Mn”+质量等级

牌号中:以万分之一(0.01%)为单位;用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。对于较高锰含量($0.7\%\sim 1.2\%$)的钢,在牌号的碳含量数值后面加元素符号“Mn”;普通锰含量($0.25\%\sim 0.8\%$)的钢则不加元素符号“Mn”。因优质碳素结构钢的质量等级都是优质,所以牌号中若没有质量等级符号,表示它的质量等级为优质;牌号中若有质量等级符号 A,表示它的质量等级为高级优质;若牌号中有质量等级符号 E,表示它的质量等级为特级优质。优质碳素渗碳钢的平均碳含量计算方法如下:

钢中平均碳含量 $=0.01\%\times$ 平均碳含量数值

例如:20,根据它的牌号表示方法可知:它是碳素渗碳钢,其平均碳含量为 0.2% ;牌号中没有元素符号“Mn”,表示它是普通锰含量($0.25\%\sim 0.8\%$);牌号中没有质量等级符号,表示它的质量等级为优质。

这类钢价格便宜,但淬透性低,临界淬透直径小,故渗碳淬火后,心部强度低,表层强度及耐磨性也不够高,且淬火时变形开裂倾向大。一般用于制造承受载荷较低、形状简单、不太重要的,但要求耐磨的小型零件。

注:淬透性是指钢接受淬火时形成马氏体的能力。

(2) 合金渗碳钢

典型牌号有 20Mn2, 20Cr, 20CrMnTi, 20MnVB, 20Cr2Ni4 和 18Cr2Ni4WA 等。根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,合金渗碳钢的牌号表示方法是:

平均碳含量数值+合金元素符号+合金元素平均含量数值+质量等级

牌号中:以万分之一(0.01%)为单位;用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。同时以百分之一(1%)为单位,标注钢中各个合金元素的平均含量数值;如合金元素平均含量小于 1.5% ,牌号中只标合金元素符号,不标数值。由于合金结构钢的质量等级都是优质,所以牌号中若没有质量等级符号,表示它的质量等级为优质。若牌号中有质量等级符号 A,表示它的质量等级为高级优质;若牌号中有质量等级符号 E,表示它的质量等级为特级优质。

合金渗碳钢的平均碳含量和合金元素平均含量计算方法如下:

钢中平均碳含量 = $0.01\% \times \text{平均碳含量数值}$

钢中的合金元素平均含量 = $1\% \times \text{合金元素平均含量数值}$

例如:18Cr2Ni4WA,根据它的牌号表示方法可知:它是合金渗碳钢,其平均碳含量为 0.18%,平均铬含量为 2%,平均镍含量为 4%,平均钨含量 $<1.5\%$;质量等级为高级优质。

这类钢渗碳时晶粒不易长大,淬透性良好;经过热处理后,表面具有高的硬度,心部有较高的韧性和足够的强度。可用于制造表面承受剧烈摩擦磨损,并承受交变或冲击载荷的零件,如变速齿轮、凸轮轴和活塞销等。

合金渗碳钢具体使用时根据淬透性大小将合金渗碳钢分为三类:低淬透性渗碳钢、中淬透性渗碳钢和高淬透性渗碳钢。

①低淬透性渗碳钢:这类钢的水淬临界淬透直径为 20mm~35mm,具体牌号有 20Mn2,20Cr,20MnV 等,这类钢常用于制作受力不太大;不需要很高强度的耐磨零件。

②中淬透性渗碳钢:这类钢的油淬临界淬透直径约为 25mm~60mm,具体牌号有 20CrMnTi,12CrNi3,20MnVB 等,常用于制作承受中等载荷的耐磨零件。

③高淬透性渗碳钢:这类钢的油淬临界淬透直径约为 100mm 以上,具体牌号有 12Cr2Ni4,20Cr2Ni4,18Cr2Ni4WA 等,它们属于马氏体钢,即使空冷也能被淬成马氏体,常用于制造承受重载与剧烈磨损的重要大型零件。

2. 调质用钢的牌号和用途

调质用钢是指经调质后使用的钢,简称调质钢;调质钢的化学成分一般为中碳(碳含量为 0.25%~0.5%),具有较高的综合力学性能和良好的淬透性,它主要用于制造承受变动载荷与冲击载荷或各种复合应力的大型机械零部件。常用调质钢包括碳素调质钢和合金调质钢两大类。

(1)碳素调质钢

典型牌号有 35,40,45 或 40Mn,50Mn 等优质碳素结构钢,根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,碳素调质钢的牌号表示方法与碳素渗碳钢相同,即:

平均碳含量数值 + 元素符号“Mn” + 质量等级

牌号中:以万分之一(0.01%)为单位;用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。对于较高锰含量(0.7%~1.2%)的钢,在牌号的碳含量数值后面加元素符号“Mn”;普通锰含量(0.25%~0.8%)的钢则不加元素符号“Mn”。因优质碳素结构钢的质量等级都是优质,所以牌号中若没有质量等级符号,表示它的质量等级为优质;牌号中若有质量等级符号 A,表示它的质量等级为高级优质;若牌号中有质量等级符号 E,表示它的质量等级为特级优质。碳素调质钢的平均碳含量计算方法如下:

钢中平均碳含量 = $0.01\% \times \text{平均碳含量数值}$

例如:45A,根据它的牌号表示方法可知:它是碳素调质钢,其平均含碳量为 0.45%;质量等级为高级优质;牌号中的碳含量数值后面不加元素符号“Mn”,表示它是普通锰含量(0.5%~0.8%),而脱氧方式符号省略,表示它是镇静钢。

这类钢的淬透性较差,一般用水淬,故零件变形与开裂倾向较大;调质后综合力学性能与零件截面尺寸有关,结果只有小尺寸的零件才能全部被淬透,获得较高的综合力学性能,因此它们只适宜制造承受较低载荷、形状简单、尺寸较小的调质工件。由于价格低廉,所以成为应用最广的碳素结构钢。

注:综合力学性能是指强度、硬度、塑性、韧性有良好的配合。

(2)合金调质钢

典型牌号有 40Cr, 40MnB, 35SiMn, 38CrMoAlA, 40CrNi, 40CrMnMo 等。根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,合金调质钢与合金渗碳钢的牌号表示方法相同,即:

平均碳含量数值+合金元素符号+合金元素平均含量数值+质量等级

牌号中:以万分之一(0.01%)为单位;用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。同时以百分之一(1%)为单位,标注钢中各个合金元素的平均含量数值;如合金元素平均含量小于 1.5%,牌号中只标合金元素符号,不标数值。由于合金结构钢的质量等级都是优质,所以牌号中若没有质量等级符号,表示它的质量等级为优质。若牌号中有质量等级符号 A,表示它的质量等级为高级优质;若牌号中有质量等级符号 E,表示它的质量等级为特级优质。合金调质钢的平均碳含量和合金元素平均含量计算方法如下:

钢中平均碳含量=0.01%×平均碳含量数值

钢中的合金元素平均含量=1%×合金元素平均含量数值

例如 38CrMoAl,根据它的牌号表示方法可知:它是合金调质钢,其平均碳含量为 0.38%,平均铬含量<1.5%,平均钼含量<1.5%,平均铝含量<1.5%;因它是合金结构钢,牌号中的质量等级符号省略,表示它的质量等级为优质。

由于合金元素能强化铁素体,提高淬透性,所以合金调质钢的综合力学性能高于碳素调质钢。具体使用时根据淬透性将合金调质钢分为三类:低淬透性调质钢、中淬透性调质钢和高淬透性调质钢。

①低淬透性调质钢:这类钢的油淬临界直径为 20mm~40mm,具体牌号有 40Cr, 40MnB, 35SiMn 等,它们调质后强度比碳钢高,常用作中等截面受变动载荷的调质工件。

②中淬透性调质钢:这类钢的油淬临界直径为 40mm~60mm,具体牌号有 35CrMo, 38CrMoAlA, 40CrMn, 40CrNi 等,它们调质后强度很高。常用作截面较大、承受较重载荷的调质工件。

③高淬透性调质钢:这类钢的油淬临界直径为 60mm~100mm,具体牌号有 40CrMnMo, 37CrNi3, 25G2Ni4A 等,它们调质后,强度最高,韧性也很好,常用作大截面、承受更大载荷的重要的调质件。

3. 弹簧钢的牌号和用途

弹簧依靠其工作时产生的弹性变形,在各种机械中起缓冲、吸振的作用,并利用其存储的能量,使机械完成规定的动作。弹簧钢是指用来制造各种弹簧的钢;按照化学成分它可分为碳素弹簧钢和合金弹簧钢。

(1)碳素弹簧钢

典型牌号有 60, 65~85 或 60Mn, 65Mn, 75Mn 等优质碳素结构钢。根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,碳素弹簧钢牌号的表示方法与碳素渗碳钢相同,即:

平均碳含量数值+元素符号“Mn”+质量等级

牌号中:以万分之一(0.01%)为单位;用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。对于较高锰含量(0.7%~1.2%)的钢,在牌号的碳含量数值后面加元素符号“Mn”;普通锰含量(0.25%~0.8%)的钢则不加元素符号“Mn”。因优质碳素结构钢的质量等级都是优质,所以牌号中若没有质量等级符号,表示它的质量等级为优质;牌号中若有质量等级符号 A,表示它的质量等级为高级优质;若牌号中有质量等级符号 E,表示它的质量等级为特级优质。碳素弹簧钢的平均碳含量计算方法如下:

钢中平均碳含量=0.01%×平均碳含量数值

例如 65Mn, 根据它的牌号表示方法可知: 它是碳素弹簧钢, 其平均碳含量为 0.65%, 平均锰含量较高(0.9%~1.2%)。因它是优质碳素结构钢, 牌号中的质量等级符号省略, 表示它的质量等级为优质。而牌号中的脱氧方式符号省略, 表示它是镇静钢。65Mn 是应用最广的碳素弹簧钢。

碳素弹簧钢的碳含量为: 0.6%~0.9%; 中、高碳的弹簧钢在淬火和中温回火后, 可获得高的弹性极限、屈强比和弹性比功。这类钢的价格较便宜; 但淬透性差, 当直径达到 12mm~15mm 时, 油淬就不能淬透, 而且水淬容易开裂和变形。热处理后具有一定的强度, 能承受静载荷及有限次数的循环载荷, 由于弹簧在工作时, 一般是承受变动载荷, 因此碳素弹簧钢只适宜作直径较小的不太重要的弹簧。

(2) 合金弹簧钢

典型牌号是 60Si2Mn 和 50CrVA; 根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》, 合金弹簧钢与合金渗碳钢的牌号表示方法相同, 即:

平均碳含量数值+合金元素符号+合金元素平均含量数值+质量等级

牌号中: 以万分之一(0.01%)为单位; 用 2 位阿拉伯数字标注钢中平均碳含量数值。同时以百分之一(1%)为单位, 标注钢中各个合金元素的平均含量数值; 如合金元素平均含量小于 1.5%, 牌号中只标合金元素符号, 不标数值。由于合金结构钢的质量等级都是优质, 所以牌号中若没有质量等级符号, 表示它的质量等级为优质。若牌号中有质量等级符号 A, 表示它的质量等级为高级优质; 若牌号中有质量等级符号 E, 表示它的质量等级为特级优质。合金弹簧钢的平均碳含量和合金元素平均含量计算方法如下:

钢中平均碳含量 = $0.01\% \times \text{平均碳含量数值}$

钢中的合金元素平均含量 = $1\% \times \text{合金元素平均含量数值}$

例如 60Si2Mn, 根据它的牌号表示方法可知: 它是合金弹簧钢, 其平均碳含量为 0.6%, 平均硅含量为 2%, 平均锰含量 < 1.5%; 牌号中的质量等级符号省略, 表示它的质量等级为优质。

合金弹簧钢的碳含量为: 0.45%~0.7%; 钢中还加入锰、硅、铬、钒、钼等合金元素。由此增加了钢的淬透性和回火稳定性, 也提高了弹簧钢的弹性极限、强韧性和耐热性。

例如: 60Si2Mn 的油淬临界直径为 20mm~30mm; 淬透性比碳素弹簧钢高, 弹性极限、屈强比与疲劳强度也较高; 保证弹簧具有足够的弹性变形能力, 使它在承受大载荷时不发生塑性变形。工作温度通常在 230℃ 以下, 主要用作铁路机车、汽车、拖拉机上的板弹簧和螺旋弹簧。

50CrVA 的油淬临界直径为 30mm~50mm; 淬透性比硅锰弹簧钢高, 力学性能与硅锰弹簧钢相近。由于铬、钒能细化晶粒、提高回火稳定性, 所以在 200℃ 时, 其屈服强度仍可大于 1000MPa。常用作大截面、承受较重载荷的中温弹簧; 工作温度低于 400℃。

4. 滚动轴承钢的牌号和用途

滚动轴承钢是指用来制造各种滚动轴承内外套圈及滚动体(滚珠、滚柱、滚针)的专用钢种。滚动轴承钢具有高的接触疲劳抗力、高的硬度、高的耐磨性及一定的韧性, 一般分为高碳铬轴承钢、渗碳轴承钢、高碳铬不锈钢轴承钢和高温轴承钢四大类, 其中高碳铬轴承钢的应用最为广泛(约占 90%)。

(1) 高碳铬轴承钢

典型牌号是 GCr15, GCr15SiMn; 根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》, 高碳铬轴承钢的牌号表示方法是:

G+元素符号“Cr”+铬平均含量数值+其他合金元素符号+其他合金元素平均含量数值

其中“G”是“滚”的汉语拼音字首; 牌号中: 以千分之一(0.1%)为单位; 用 2 位阿拉伯数字标注

钢中铬的平均含量数值。同时以百分之一(1%)为单位,标注钢中其他各个合金元素的平均含量数值;如合金元素平均含量小于1.5%(Cr除外),牌号中只标合金元素符号,不标数值。因高碳铬轴承钢对硫、磷的含量限制特别严格,所以高碳铬轴承钢都是高级优质,牌号后的质量等级符号都省略。高碳铬轴承钢的平均铬含量和其他合金元素平均含量计算方法如下:

钢中平均铬含量 = $0.1\% \times \text{铬平均含量数值}$

钢中的合金元素平均含量 = $1\% \times \text{合金元素平均含量数值}$

例如 GCr15SiMn,根据其牌号表示方法可知:它是滚动轴承钢,平均铬含量为1.5%,平均硅含量 $<1.5\%$,平均锰含量 $<1.5\%$;质量等级是高级优质;牌号中的碳含量没有标示,一般为 $0.95\% \sim 1.15\%$ 。

高碳铬轴承钢中的 GCr15 一般用于制造中、小型轴承的零件(如内外套圈及滚动体),而 GCr15SiMn 常用于制造较大滚动轴承。此外,由于滚动轴承钢的化学成分与含铬的低合金工具钢相近,所以它也可用来制作形状复杂的刀具、冷冲模、精密量具、冷轧辊及某些精密零件。

(2) 渗碳轴承钢

典型牌号是 G20CrNiMoA,根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,渗碳轴承钢除了在牌号头部加符号“G”之外,牌号的其他表示方法与合金结构钢相同:

G + 平均碳含量数值 + 合金元素符号 + 合金元素平均含量数值 + 质量等级

例如 G20CrNiMoA,根据其牌号表示方法可知:它是滚动轴承钢,平均碳含量为0.2%,平均铬含量 $<1.5\%$,平均镍含量 $<1.5\%$,平均钼含量 $<1.5\%$;质量等级是高级优质。

渗碳轴承钢中的 G20CrNiMoA,常用于制作承受很大冲击或特大型的轴承。

(3) 高碳铬不锈钢

典型牌号是 G95Cr18,根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,高碳铬不锈钢除了在牌号头部加符号“G”之外,牌号的其他表示方法与不锈钢相同:

G + 碳含量的最佳控制值 + 合金元素符号 + 合金元素平均含量数值

当碳含量规定上、下限时:

碳含量的最佳控制值 = $\text{平均碳含量} \times 100$

例如:高碳铬不锈钢 G95Cr18,根据其牌号表示方法可知:它是不锈钢,平均碳含量为 0.95% ,平均铬含量为 18% ,质量等级是高级优质。

高碳铬不锈钢中的 G95Cr18,是一种马氏体型不锈钢,常用于制作耐腐蚀的防锈轴承。

(4) 高温轴承钢

典型牌号是 G80Cr4Mo4V,根据现行国标 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》,高温轴承钢除了在牌号头部加符号“G”之外,牌号的其他表示方法与耐热钢相同:

G + 碳含量的最佳控制值 + 合金元素符号 + 合金元素平均含量数值

当碳含量规定上、下限时:

碳含量的最佳控制值 = $\text{平均碳含量} \times 100$

例如 G80Cr4Mo4V,根据其牌号表示方法可知:它是高温轴承钢,平均碳含量为 0.8% ,平均铬含量为 4% ,平均钼含量为 4% ,平均钒含量 $<1.5\%$;质量等级是高级优质。

高温轴承钢中的 G80Cr4Mo4V,常用于制作耐高温的高温轴承。

5. 易切削结构钢的牌号和用途

易切削结构钢是指在钢中加入一种或几种易切削添加元素,使其成为切削加工性良好的钢。典型牌号有 Y12, Y12Pb, Y15, Y15Pb, Y20, Y30, Y35, Y40Mn, Y45Ca 等,根据现行国标