



金属清洗与防锈

王 恒 编著

JINSHU
QINGXI
YU
FANGXIU



化学工业出版社

金属清洗与防锈

王 恒 编著

JINSHU
QINGXI
YU
FANGXIU



化学工业出版社

· 北京 ·

全书以金属加工中所需清洗材料与防锈措施为主线,详细介绍了金属清洗剂的种类、性能、清洗方法、清洗设备以及金属加工过程中产生污垢的种类、组成并阐述清洗理论,最后详尽地叙述金属防锈切削液、工序间及成品防锈工艺要求。

在金属清洗材料方面,用较多篇幅介绍新近开发和正在有效应用各种清洗剂,特别是既节约能源、有利于环保,清洗效果又好的水剂清洗剂;在防锈方面,重点介绍对产品质量影响较大而工作量又繁重的中间防锈,包括防锈切削液的选用,防锈工艺要点等。

本书是企业从事机械加工、润滑技术人员,大专院校机械加工及相关专业师生的参考书,也是从事金属清洗剂研制、防锈材料研发、销售人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属清洗与防锈/王恒编著. —北京:化学工业出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-122-15638-9

I. ①金… II. ①王… III. ①金属-清洗②金属-防锈 IV. ①TG17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 246461 号

责任编辑:邢涛

文字编辑:林丹

责任校对:蒋宇

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张21 $\frac{3}{4}$ 字数564千字 2013年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:78.00 元

版权所有 违者必究

前言

金属清洗是现代工业生产的一个重要环节。金属原料入库和零件加工制造（包括冷、热加工工序）、产品装配组合及修理行业的分解、机械行业的维修及保养等都离不开清洗工序。同时，合理的清洗工艺可以有效地清除金属表面附着的各种污垢和杂质，从而大大减缓金属的锈蚀和磨损。对于高、精、尖的产品都有高的清洗度要求，如电子工业、航天航空工业等，都有特殊的清洗工艺要求。

据统计，世界上冶炼得到的金属中有 1/3 由于生锈而在工业中报废，许多精密仪器、设备也因锈蚀与腐蚀使其运转不正常或停止运转。在金属加工过程中，金属材料受到大气中的氧、水、润滑剂中氧化生成的酸性成分及操作者手汗等的影响，产生锈蚀而使加工中的零部件报废，已是屡见不鲜的事实；由于受到粉尘，金属屑的影响而产生磨损、划痕也非常常见。

本书详尽地论述了金属加工与使用中的两个难点——清洗与防锈。重点介绍了新近开发或正在有效使用的清洗剂、清洗方法、防锈剂的选用以及防锈管理、清洗与防锈材料的检验方法等内容。以求对企业提高产品质量、实现节能环保、产品更新换代的攻关提供一些有益的帮助。

在本书的编著过程中，得到刘晶郁教授、武亚莉教授、仝秋红教授、陈红副教授、张冠华硕士等很多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于篇幅和作者水平的限制，书中不足之处，希望广大读者和专家提出宝贵的意见。

王恒

2012 年 6 月

1

概述 1

1.1 金属加工用材料	1
1.1.1 黑色金属材料	1
1.1.2 有色金属材料	7
1.2 金属的腐蚀、锈蚀与防锈的基本概念	10
1.2.1 研究金属腐蚀的重要性	10
1.2.2 金属腐蚀	12
1.2.3 大气腐蚀及其控制	21
1.2.4 金属材料的选择	25
1.2.5 防锈技术的现状与发展趋势(以汽车工业为例)	33

2

金属在各种环境下的腐蚀、锈蚀和防护 36

2.1 金属在自然环境中的腐蚀	36
2.1.1 金属在自然水中的腐蚀	36
2.1.2 土壤腐蚀	39
2.1.3 大气腐蚀	40
2.1.4 微生物腐蚀	46
2.2 金属在工业环境中的腐蚀	50
2.2.1 金属在酸溶液中的腐蚀	50
2.2.2 金属在碱溶液中的腐蚀	53
2.2.3 金属在盐类水溶液中的腐蚀	54

3

污垢的分类与清洗原理 56

3.1 污垢	56
3.1.1 按污垢存在形状分类	56
3.1.2 按化学组成分类	56
3.1.3 按亲水和亲油性能分类	57
3.1.4 按在金属表面存在的状态分类	57
3.1.5 按污垢与底物的结合情况分类	58
3.1.6 混合污垢	59
3.1.7 其他污垢	60

4

3.1.8 金属加工过程中的污垢	60
3.2 清洗原理	60
3.2.1 固体污垢的清洗原理	61
3.2.2 液体污垢的清洗原理	65
3.2.3 水介质中污垢的清洗原理	66

金属清洗剂

68

4.1 金属清洗剂的组成	69
4.1.1 水	69
4.1.2 有机溶剂	73
4.1.3 酸剂	80
4.1.4 碱剂	84
4.1.5 表面活性剂	88
4.1.6 防锈缓蚀剂	91
4.2 金属清洗剂的研制	92
4.2.1 水基型金属清洗剂	93
4.2.2 多功能金属清洗剂	101
4.2.3 新型无磷除油除锈水基金属清洗剂	105
4.2.4 去油、除锈、防锈磷化液	107
4.2.5 汽车节能型清积炭剂	109

5

金属清洗工艺

111

5.1 金属材料的清洗	111
5.1.1 钢铁和不锈钢的清洗	111
5.1.2 有色金属的清洗	114
5.2 机械部件的清洗	115
5.2.1 脱脂清洗	116
5.2.2 去除指纹	116
5.2.3 去除积炭	117
5.2.4 表面涂层的剥离	117
5.3 金属加工各工序间的清洗	118
5.3.1 电镀前的预处理清洗	118
5.3.2 涂涂料前预处理清洗	124
5.3.3 粘接预处理清洗	127
5.3.4 氧化铝膜预处理清洗	132
5.3.5 钢铁领域中的清洗	134
5.3.6 机械加工的中间工序、精加工与组装工序的清洗	138
5.3.7 搪瓷的预处理清洗	138

5.3.8	电子设备领域中的清洗	139
5.3.9	热处理操作中的清洗	140
5.4	清洗操作方法及设备	141
5.4.1	清洗工艺及设备设计的根据与要求	141
5.4.2	清洗工艺的分类及特点	141
5.4.3	干洗工艺及设备	142
5.4.4	超声波清洗	144
5.4.5	喷射清洗	149
5.4.6	电解清洗	153
5.4.7	浸泡清洗	155
5.4.8	溶剂蒸气清洗	158
5.4.9	高压水射流清洗	159
5.4.10	循环清洗工艺及设备	161
5.5	清洗设备的选择	162
5.6	清洗效果评价方法	163
5.6.1	定性评价方法	163
5.6.2	定量评价方法	164
5.7	清洗缺陷及解决措施	165
5.8	清洗工艺实例	166
5.8.1	钢板清洗工艺	166
5.8.2	发动机缸体清洗工艺	168
5.8.3	发动机装配前清洗工艺	171
5.8.4	变速箱结合齿超声波清洗工艺	171
5.8.5	汽车修理中的清洗	172
金属清洗剂的配制及应用		174
6.1	金属清洗剂的分类	174
6.2	水基金属清洗剂	174
6.2.1	通用型金属清洗剂	174
6.2.2	酸性金属清洗剂	180
6.2.3	碱性金属清洗剂	180
6.2.4	强碱性金属清洗剂	181
6.2.5	喷雾型金属清洗剂	182
6.2.6	浸渍性金属清洗剂	182
6.2.7	重垢金属清洗剂	183
6.2.8	低泡金属清洗剂	184
6.3	溶剂型金属清洗剂	185
6.3.1	煤油、三乙醇胺型	185
6.3.2	汽油、三乙醇胺型	185

6.3.3	煤油、油酸酯型	185
6.3.4	醚、汽油型	185
6.3.5	斯盘、汽油型	185
6.3.6	铝合金剂清洗	185
6.3.7	甲酯、轻馏分型	185
6.3.8	W/O 型	185
6.3.9	O/W 型	186
6.4	复合型金属清洗剂	186
6.4.1	苯磺酸、三氯乙烯型	186
6.4.2	苯磺酸、单乙醇胺型	186
6.4.3	聚氧乙烯醚、二甲苯型	186
6.4.4	聚氧乙烯醚、丁酮型	186
6.4.5	油酸、三乙醇胺型	186
6.4.6	聚氧乙烯醚、煤油型	186
6.4.7	斯盘、汽油型	186
6.5	各类金属用清洗剂	187
6.5.1	不锈钢清洗剂	187
6.5.2	黑色金属及制件去油清洗剂	189
6.5.3	铜金属清洗剂	192
6.5.4	铝金属清洗剂	195
6.5.5	镁金属清洗剂	199
6.5.6	锌金属清洗剂	200
6.5.7	银金属清洗剂	200
6.5.8	镍金属清洗剂	203
6.5.9	铬金属清洗剂	204
6.5.10	锡合金清洗剂	204

7

金属加工过程中常用防锈及包装材料

205

7.1	常用防锈材料	205
7.1.1	防锈水及其选用	205
7.1.2	防锈油脂及其选用	208
7.2	防锈包装材料	233
7.2.1	防锈包装材料的分级、分类	233
7.2.2	防锈包装材料的应用	233

8

金属加工过程中的防锈与包装材料

236

8.1	产品设计中的腐蚀控制	236
-----	------------------	-----

8.1.1	环境条件	236
8.1.2	防腐蚀结构设计	241
8.1.3	材料选择	243
8.1.4	金属腐蚀与预防	250
8.1.5	表面防护	250
8.1.6	采用有效的防护包装	251
8.2	工序间防锈	252
8.2.1	工序间产生锈蚀的基本原因	253
8.2.2	预防工序间锈蚀的主要方法	253
8.2.3	工序间防锈一般要求	253
8.2.4	防锈处理的工艺要点	254
8.2.5	汽车生产工序间防锈的具体措施	256
8.2.6	中间库房防锈	259
8.3	机械制品防锈包装工艺技术条件举例之一(轴承)	260
8.3.1	轴承防锈、包装工艺概要	260
8.3.2	工序间防锈的要求	260
8.3.3	清洗	261
8.3.4	防锈	261
8.3.5	内包装材料的分类及轴承对内包装的要求	263
8.4	机械制品防锈包装工艺技术条件举例之二(汽车)	263
8.4.1	汽车备件防锈包装方法	263
8.4.2	备件防锈包装工艺	268
8.4.3	防锈包装设备	272
8.4.4	防锈包装失败的原因	273
8.5	机械设备及工具类的防锈	274
8.5.1	使用中机械设备的防锈	274
8.5.2	暂停使用设备及工具的防锈	275
8.6	仓库防锈	276
8.6.1	露天库防锈工艺	276
8.6.2	库房防锈	277
8.7	金属表面锈蚀的鉴别与除锈	279
8.7.1	金属表面锈蚀的鉴别	279
8.7.2	表面锈蚀的清除	281
8.7.3	除锈方法比较	286
8.7.4	除锈方法应用实例	287

9. 1. 1	防锈管理的目标	292
9. 1. 2	防锈管理的特点	293
9. 2	质量管理与质量保证体系	294
9. 2. 1	ISO 9000 族质量管理与质量保证标准	294
9. 2. 2	ISO 14000 系列环境质量管理与保证标准	295
9. 2. 3	美国汽车工业质量保证标准 QS 9000	296
9. 2. 4	传统的防锈管理方案	297
9. 2. 5	防锈管理信息系统	298
9. 3	防锈管理环节	299
9. 3. 1	营销过程的防锈管理	299
9. 3. 2	产品设计过程的防锈管理	299
9. 3. 3	工艺规划过程的防锈管理	300
9. 3. 4	改进过程的防锈管理	306
9. 3. 5	采购过程的防锈管理	307
9. 3. 6	制造过程的防锈管理	308
9. 3. 7	储存过程的防锈管理	311
9. 3. 8	装卸过程的防锈管理	312
9. 3. 9	运输过程的防锈管理	312
9. 3. 10	其他过程的防锈管理	314
9. 4	防锈管理应用实例	315
9. 4. 1	某厂防锈工作的改进	315
9. 4. 2	准时化生产	316
9. 4. 3	防锈设备运营成本控制	317
9. 4. 4	油嘴的防锈包装	317
9. 4. 5	齿轮防锈	318
9. 4. 6	除锈质量控制	318
9. 4. 7	清洗过程管理	319
9. 4. 8	防锈质量控制	320

10

清洗与防锈材料检验分析方法

321

10. 1	金属清洗剂检验分析方法	321
10. 1. 1	试验的准备	321
10. 1. 2	净洗力试验方法	321
10. 1. 3	防锈性试验方法	322
10. 1. 4	腐蚀性试验方法	322
10. 1. 5	消泡性能试验方法	323
10. 1. 6	水分及挥发物试验方法	323
10. 1. 7	高、低温稳定性试验方法	323

10. 1. 8	漂洗性能试验	324
10. 2	合成切削液的检验方法	324
10. 2. 1	腐蚀性试验方法	324
10. 2. 2	防锈性试验方法	324
10. 3	防锈材料及检验方法	325
10. 3. 1	试验准备	325
10. 3. 2	防锈试验试片锈蚀程度评定方法	326
10. 3. 3	碳酸钠-亚硝酸钠防锈水测定	327
10. 3. 4	三乙醇胺-亚硝酸钠防锈液的测定	327
10. 3. 5	防锈油脂的检验方法	328
10. 3. 6	防锈蜡的检验方法	328
10. 3. 7	气相防锈材料的检验方法	331
10. 3. 8	涂膜保护涂料及其去除剂的检验方法	334

1 概述

1.1 金属加工用材料

金属材料是基础的工程材料，也是目前国民经济各部门使用量最大、最为重要的材料品种之一。它包括金属和以金属为基础的合金。由于金属构成原子之间的结合键基本上是金属键，所以金属材料皆为金属晶体材料。金属材料种类繁多，习惯分成黑色金属材料 and 有色金属材料两大类。

1.1.1 黑色金属材料

黑色金属材料包括生铁、铁合金、铸铁和钢。黑色金属应用的最为广泛，以铁为基础的合金材料占整个结构材料和工具材料的 90% 以上。黑色金属的工程性能比较优越，价格也比较便宜，是最重要的工程材料。

1.1.1.1 钢

钢是用生铁（炼钢生铁）或生铁加一部分废钢经冶炼而成的。钢中含碳量低于 2.1%，其杂质（主要指 S、P）含量降低到规定标准。钢的种类很多，按照钢的外形、化学成分、品质、冶炼方法和用途等的不同，可对钢进行多种分类。

（1）根据外形分类 钢材按外形可分为型材、板材、管材、金属制品四大类。为便于采购、订货和管理，我国目前将钢材进一步分为十六大品种。国内钢材根据外形分类见表 1-1。

（2）根据化学成分分类

① 非合金钢 普通质量非合金钢是指不规定生产过程中需要特别控制的质量要求，但化学成分和力学性能必须保证在规定范围内，杂质（主要 P、S 等）也必须在规定范围内。

普通质量非合金钢金元素只含碳、不含其他合金元素，也叫普通碳素钢。由于不含其他合金元素，工艺简单成本低、应用也较广，主要用于生产板、带、型材等普通构件，大多不经热处理直接使用。碳素钢是钢中应用最多的、数量最大的，常轧制成板材、型材及异型材，用于一般结构和工程。钢的牌号由代表屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四部分按顺序组成。

② 优质非合金钢 优质碳素结构钢属优质钢，不仅要保证化学成分也要保证力学性能，同时要求杂质（S、P）含量较低。优质碳素结构钢的用途根据化学成分和性能不同而异。低碳碳结钢（ $C < 0.5\%$ ）由于塑性、韧性及焊接性能优良，主要用于轧制薄板、钢带、型钢及拉丝等。08F 多用于制造各种冲压件，如搪瓷制品、汽车外壳零件等。15、20、20Mn 是常用的渗碳钢，可用于制造对芯部强度要求不高的渗碳零件如机械装置，汽车、拖拉机的齿轮、凸轮、活塞销等。中碳碳结钢（ $C 0.25\% \sim 0.60\%$ ）与低碳碳结钢相比，强度较高而塑性、韧性稍低，多轧制型钢。用于制造轴类零件，经调质处理后使用，因此也称高质钢。45 钢是应用十分广泛的中碳碳结钢。高碳碳结钢（ $C > 0.60\%$ ）具有较高的强度、硬度、弹

性和耐磨性，多生产型钢。主要用于制造机具的易磨损零碎件和弹簧等，如农机的犁铧、耙片、轧机轧辊及减震弹簧、坐垫弹簧等。其中 65Mn、70Mn、70、75、80、85 钢属于特殊质量非合金钢（弹簧钢）。

表 1-1 国内钢材根据外形分类

类别	品 种	说 明
型材	重轨	每米质量大于 30kg 的钢轨(包括起重机轨)
	轻轨	每米质量小于或等于 30kg 的钢轨
	大型型钢	普通钢圆钢、方钢、扁钢、六角钢、工字钢、槽钢、等边和不等边角钢及螺纹钢等。按尺寸大小分为大、中、小型
	中型型钢	
	小型型钢	
	线材	直径 5~10mm 的圆钢和盘条
	冷弯型钢	将钢材或钢带冷变成型制成的型钢
	优质型材	优质钢圆钢、方钢、扁钢、六角钢等
	其他钢材	包括重轨配件、车轴坯、轮箍等
板材	薄钢材	厚度≤4mm 的钢板
	厚钢板	厚度大于 4mm 的钢板,可分为中板(厚度大于 4mm 小于 20mm)、厚板(厚度大于 20mm 小于 60mm)、特厚板(厚度大于 60mm)
	钢带	也叫带钢,实际上是长而窄并成卷供应的薄钢板
	电工硅钢薄板	也叫硅钢片
管材	无缝钢管	用热轧、热轧冷拔或挤压等方法生产的管壁无接缝的钢管
	焊接钢管	将钢板或钢带卷曲成型,然后焊接制成的钢管
金属制品	金属制品	包括钢丝、钢丝绳、钢绞线等

优质碳素结构钢在订货合同中注明了使用加工方法，一般按加工方法分成两种：压力加工用钢（热压力加工、冷锻等）和切削加工用钢。

冷锻钢是主要用于制造螺钉、铆钉、销钉的优质碳结钢。对冷锻钢要求钢中含 S、P、Si 等杂质少，保证冷锻性能及热处理后的力学性能。

易切削结构钢是利用钢中某些元素的作用改善钢的切削加工性能，以适于在自动机床上进行高速切削的钢种。常用改善切削加工性的元素有 S、Pb、Ca 等，其中以 S 最常用。S 在钢中形成 MnS 夹杂，MnS 很脆，并有一定润滑作用因而切屑易于碎断，工件表面光洁度高，可减少刀具磨损，提高切削速度。易切削结构钢虽然含 S、P 较多，但在这类钢中是作为有益元素加入或保存下来的，因此，属于优质钢。易切削结构钢用作生产标准件如小型螺钉、螺母，油泵、手表、计算机和打字机零件，以及机床光杠、丝杠等。易切削结构钢牌用“Y”加钢号表示。

除优质碳素结构钢、冷锻钢、易切削结构钢外，其他优质非合金钢还很多，大多用于生产某种专用产品。如锅炉和压力容器用钢、造船用钢、铁道用钢、桥梁用钢、汽车用钢、锚链用钢、自行车用钢、输油及输气管用钢、工程结构用铸造碳素钢、预应力及混凝土钢筋用优质非合金钢、焊条用钢、花纹钢板、非合金调质钢、非合金表面硬化钢、非合金弹簧钢、盘条钢、非合金电工钢板带等。

③ 特殊质量非合金钢 特殊质量非合金钢是指在生产过程中需要特别严格控制质量和性能（例如，控制淬透性和纯洁度）的非合金钢。

碳素工具钢的含碳量高 (0.65%~1.35%), 属高碳钢, 具有高硬度、高耐磨性以及良好的锻造性能和切削加工性, 价格便宜, 唯一不足的是淬透性低。其牌号由“碳”的汉语拼音字头 (T) 加数字组成, 数字表示碳的千分含量, 高级优质碳素工具钢在数字后加字母 A。

其他特殊质量非合金钢大多也都是为了某种专用产品需要, 而要经过特殊处理的非合金钢。如保证军工需要的航空用钢、兵器用钢、核压力容器用非合金钢; 保证某种热处理需要的非合金钢、保证淬透性的非合金钢、非合金调质钢、非合金表面硬化钢、火焰及感应淬火硬化钢; 专用原料的焊条用钢、碳素弹簧钢、特殊盘条钢、冷锻和冷挤压钢、特殊易切削钢、碳素中空钢; 具有规定导电性能的非合金电工钢。

(3) 低合金钢 低合金钢在钢中加入少量合金元素, 由于合金元素的强化作用, 低合金钢的屈服点比普通碳素钢高 25%~150%, 加之大多碳含量低, 因而具有良好的塑性韧性和焊接性能, 有的还具有耐腐蚀、耐低温等特性。低合金钢是一类很有发展前途的钢, 在钢的生产中比例越来越大。低合金钢按质量和用途分为普通质量低合金钢、优质低合金钢、特殊质量低合金钢。

① 普通质量低合金钢 普通质量低合金钢是指供一般用途使用的合金钢。在生产过程中需要特别控制质量, 例如降低硫、磷含量, 控制晶粒度, 改善表面质量等。一般用途低合金钢结构钢牌号由代表屈服点的汉语拼音字母 (Q)、屈服点数值、质量等级符号 (A、B、C、D、E) 三个部分按照顺序排列。由于合金元素作用, 普通质量低合金钢具有较高的强度和韧性, 工艺性能较好, 生产成本低, 应用广泛, 大多直接使用。常用于铁路、桥梁、船舶、汽车和压力容器, 也常用作焊接结构件和机械构件等。

② 优质和特殊质量低合金钢 优质和特殊质量低合金钢都是为某种专用产品而生产的专用钢。优质钢有可焊接低合金高强度结构钢, 如锅炉和压力容器用、造船用、汽车用、桥梁用、自行车用低合金钢; 特殊钢有核能、压力容器、舰船、兵器以及保证厚度方向性能等特殊质量的低合金钢。用作一般低合金钢筋钢的有 20MnSi、20MnTi、20MnSiV、25MnSi、20MnNb, 还有铁道、矿用低合金钢等。

(4) 合金钢 合金钢分为优质合金钢和特殊质量合金钢。优质合金钢和特殊质量合金钢, 在生产过程中都需要严格控制质量和性能。

① 合结钢 一般工程结构用合金钢属优质合金钢俗称合结钢。主要用于制造机械结构件, 大多经热处理后使用。由于合金元素作用, 增加了淬透性、细化了晶粒、提高了淬火稳定性。低碳合金结构钢经过渗碳, 氮淬火及低温回火处理后, 构件表面耐磨, 芯部韧性好, 故也叫表面硬化钢。中碳合金结构钢经过调质处理, 能获得良好的综合性能。

② 弹簧钢 弹簧钢用于生产各种板簧和螺旋弹簧或类似零件 (如轧辊等)。弹簧是一种能产生大量弹性变形的结构零件, 通过弹簧的弹性变形, 可以吸收冲击能量、缓和冲击和震动的作用, 因此弹簧钢必须有高的强度, 特别是高的屈服强度和疲劳强度, 不易脱碳, 有良好的表面质量, 具有一定的淬透性和良好的工艺性能。有的弹簧还要求耐热、耐腐蚀等。弹簧钢含碳较高。常用弹簧钢的牌号、成分、热处理、性能及用途见表 1-2。

③ 轴承钢 轴承钢主要用来制造滚动轴承内外套圈、滚珠、滚粒、保持架等, 此外, 在量具、冷作模具、低合金刀具、柴油机高压油泵件等方面也有广泛应用。轴承钢种类较多, 如高碳铬、渗碳、不锈、高温、无磁轴承钢等。渗碳轴承钢牌号用“G”为汉语拼音字头, 后数字表示含碳的百分数, Cr 元素后数字表示铬含量名义百分数, 后面用元素符号及其含量名义百分数表示。轴承钢的钢号、成分、热处理和用途见表 1-3。

表 1-2 常用弹簧钢的牌号、成分、热处理、性能及用途

钢 号		60	75	85	65Mn	60Si2Mn	50CrVA
主要成分/%	C	0.62~0.70	0.72~0.80	0.62~0.70	0.62~0.70	0.57~0.65	0.46~0.54
	Mn	0.50~0.80	—	0.90~1.20	0.90~1.20	0.60~0.90	0.50~0.80
	Si	0.17~0.37	—	0.17~0.37	0.17~0.37	1.50~2.00	0.17~0.80
	Cr	≤0.25	—	≤0.25	≤0.25	≤0.30	0.80~1.10
热处理	淬火温度/℃	840(油)	820(油)	830(油)	830(油)	870(油)	850
	回火温度/℃	480	—	480	480	460	520
力学性能	σ_b /MPa	8000	900	800	800	1200	10
	σ_s /MPa	1000	1100	1000	1000	1300	
	δ_5 /MPa	9	7	8	8	5	
应用范围		截面 12~15mm ² 的小弹簧			截面≤25mm ² 的弹簧,例如车厢板簧、机车板簧、缓冲卷簧		截面≤30mm ² 的弹簧,例如小型汽车、载重车板簧,扭杆簧,低于 350℃ 的耐热弹簧

表 1-3 轴承钢的钢号、成分、热处理和用途

钢 号	主要化学成分/%							热处理规范及性能			主要用途
	C	Cr	Si	Mn	V	Mo	RE	淬火/℃	回火/℃	回火后 HRC	
GCr6	1.05~1.15	0.40~0.70	0.15~0.35	0.20~0.40	—	—	—	800~820	150~170	62~60	<10mm 的滚珠、滚柱和滚针
GCr9	1.0~1.10	0.9~1.2	0.15~0.35	0.20~0.40	—	—	—	800~820	150~160	62~60	20mm 以内的各种滚动轴承
GCr9SiMn	1.0~1.10	0.9~1.2	0.40~0.70	0.90~1.20	—	—	—	810~830	150~200	61~65	壁厚<14mm、外径<250mm 的轴承套 25~50mm 的钢球;直径 25mm 左右滚柱等
GCr15	0.95~1.05	1.30~1.65	0.15~0.35	0.20~0.40	—	—	—	820~840	150~160	62~60	与 GCr9SiMn 同
GCr15SiMn	0.95~1.05		0.40~0.65	0.90~1.20		—	—	820~840	170~200	>62	壁厚≥14mm,外径 250mm 的套圈。直径 20~200mm 的钢球。其他同 GCr15
GMnMoVRE ^①	0.95~1.05	—	0.15~0.40	1.10~1.40	0.15~0.25	0.4~0.6	0.05~0.01	770~810	170±5	≥62	代 GCr15 用于军工和民用方面的轴承
GSiMoMnV ^①	0.95~1.10	—	0.45~0.65	0.75~1.05	0.2~0.4	—	780~820	175~200	175~200	≥62	与 GMnMoVRE 同

①为新钢种，供参考；RE 为稀土元素。

④ 合金工具钢 为克服碳素工具钢淬透性低的弱点，提高耐磨性，在保持较高含碳量的前提下，钢中加入 Si、Mn、Cr、W、Mo、V 等元素，提高了合金工具钢淬透性。合金工具钢的牌号由数字和化学元素符号组成，当钢中含碳量小于 1.00% 时，牌号前数字表示含碳量的名义千分含量，牌号前原数字者表示含碳量不低于 1.00% 元素符号，后数字表示合金元素的名义百分数。合金工具钢按用途分为量具刀具钢、耐冲击工具钢、冷铁模具钢、热作模具钢、磁模钢和塑料模具钢。

⑤ 量具刀具钢 量具刀具钢含碳 0.08%~1.45%，加入 Cr、Mn、Si、W 等合金元素。Cr、Si、Mn 提高钢的淬透性；Cr、Si 能提高回火稳定性；Mn 可减小淬火变形；W 提高耐磨能力，细化组织。这类钢主要用于制造车刀、刨刀、铰刀、拉刀等刀具及量规、样板、千

分尺、塞规等量具。耐冲击工具钢有 4Cr2Si、5CrW2Si、6CrW2Si，属中碳钨系钢。通过降低含碳量以增加韧性，钨提高钢耐磨性，用于制造受冲击载荷大的工具，如冷作模具、顶锻模、风凿等。

⑥ 模具钢 模具钢用于制造成型模具，包括冷作模具钢、热作模具钢、无磁模具钢和塑料模具钢等。

⑦ 高速工具钢 为满足切削过程中，刀具线速度达 80m/min，刀具硬度 $>60\text{HRC}$ 的要求，在高碳钢中加入大量 W、Mo、Cr、V 等合金元素而获得高速钢。W 和 Mo 可提高钢的热硬性，在回火温度 500~600℃ 下，W、Mo 析出并生成 Mo_2C 和 W_2C ，发生二次硬化（温度在 500~600℃ 时钢的硬度不仅不下降，反而升高的现象称二次硬化）。高速工具钢也叫高速钢，其牌号表示方法同合工钢。

高速工具钢中 W18Cr4V 是世界上最早生产，也是最常用高工钢，用来制造各种刀具，如车刀、插齿刀、扩孔钻、钻头等。但由于碳化物偏析严重、热塑性低等，限制了其进一步使用。CW6MoCr4V2 是以 Mo 代 W 的 Mo 系高速钢，其碳化物分布均匀，热塑性好，价格便宜（我国钼储量和产量高）。只是热硬性稍低，但仍是高速钢的主要钢性。

非合金钢、低合金钢和合金钢合金元素规定含量界限值见表 1-4。

表 1-4 非合金钢、低合金钢和合金钢合金元素规定含量界限值

合 金	金元素规定含量界限值/%		
	非合金钢	低合金钢	合金钢
Al	<0.10	—	≥ 0.10
B	<0.0005	—	≥ 0.0005
Bl	<0.10	—	≥ 0.10
Cr	<0.30	0.30~0.50	≥ 0.50
Co	<0.10	—	≥ 0.10
Cu	<0.10	0.10~0.5	≥ 0.50
Mn	<1.00	1.00~1.40	≥ 1.40
Mo	<0.05	0.05~0.10	≥ 0.10
Ni	<0.30	0.30~0.50	≥ 0.50
Nb	<0.02	0.02~0.06	≥ 0.60
Pb	<0.40	—	≥ 0.40
Se	<0.10	—	≥ 0.10
Si	<0.50	0.50~0.90	≥ 0.90
Te	<0.10	—	≥ 0.10
Ti	<0.50	0.05~0.13	≥ 0.13
W	<0.10	—	≥ 0.10
V	<0.04	0.04~0.12	≥ 0.12
Zr	<0.05	0.05~0.12	≥ 0.12
La 系(每一种元素)	<0.02	0.02~0.05	≥ 0.50
其他规定元素 (S、P、C、N、外)	<0.05	—	≥ 0.05

(5) 根据用途分类 按钢使用用途不同，可以把钢分成结构钢、工具钢和特殊用途钢。

① 结构钢 结构钢进一步分为工程结构钢和机械结构钢。工程结构钢主要是指用作建筑、铁路、桥梁、容器等工程构件用钢,这种钢制成构件大多不再进行热处理。机械结构钢指机床、武器等零构件用钢,这种零构件大多要进行热处理。

② 工具钢 主要用来制造各种工具,如量具、刀具、模具,对工具钢制成的工具都要进行热处理。

③ 特殊性能钢 特殊用途钢是指制成的零构件在特殊条件下工作,对钢有特殊要求,如物理、化学、力学等性能。常用的有不锈钢、耐热钢、电工硅钢、电子纯铁及各种精密合金(软磁合金、弹性合金、膨胀合金、热双合金、电阻合金、电偶材料等)。

a. 不锈钢 不锈钢以其良好的耐腐蚀性能而得名,它主要合金成分为铬和镍。铬有很高的化学稳定性,在氧化介质中能生成致密坚韧的钝化膜,能使合金的电极电位明显提高,从而有效地阻止了合金的进一步氧化。在铬钢中加入镍,可提高合金在非氧化性介质中的耐腐蚀性能。当铬、镍含量一定时,钢中碳含量愈低,其耐腐蚀性能就愈好。

不锈钢的耐腐蚀性能,还与基体组织的均匀程度有关。当形成均匀一致的合金固溶体时,能有效地减少钢在电解溶液中腐蚀速度。

奥氏体不锈钢属铬镍系不锈钢,是单一的奥氏体组织,它具有良好的耐蚀性、低温韧性、压力加工和焊接工艺性、无磁性,广泛用作腐蚀介质中工作的低温钢和无磁钢。铁素体型不锈钢因为含有铬,在加热和冷却过程中有相变发生,是硝酸、氮肥工业常用的耐腐材料。马氏体不锈钢含碳量较高,淬透性好。此类钢中,低碳不锈钢韧性好,可制造在腐蚀介质中工作的耐冲击零件;高碳不锈钢用于制造弹簧、轴承、手术刀片等。由奥氏体和铁素体两相混合组织为基体的不锈钢是双相不锈钢,它具有强度高、韧性好,耐晶间腐蚀等优点。

b. 电工钢 电工钢也称硅钢,是含碳量低于 0.05% 的铁硅二元合金。具有铁损小、矫顽力小、磁导率和磁感应强度高等特点,是常用软磁(作短暂或反复磁化的材料)材料之一。影响电工钢性能的主要因素是化学成分和组织结构,其中硅对电工钢磁性影响最显著,当纯铁中加入 3.0% Si 时磁导率增加 1.6~2 倍,磁滞损耗降低 40%,电阻率增大 4 倍(可减少涡流损耗)、总铁损降低 1 倍,但硬度和强度也明显提高。通常硅含量不超过 4.5%,否则太硬,不易如工。有害杂质(N、C、S、O 等)的存在,将造成钢的晶格畸变,增大应力,阻碍磁化过程,因此杂质含量要严格控制。

硅钢主要用于电机、变压器、电工仪表等电力工业用,大多轧成 0.3mm、0.35mm、0.5mm 薄板,有热轧和冷轧两种。冷轧硅钢薄板形状均匀、表面平整、无氧化膜、有利于提高组装质量和效率。

电工硅钢的牌号用汉语拼音字母和两组数字表示,“DR”表示热轧,“DQ”表示冷轧取向(钢的各向磁性差别很小)。第一组数字表示硅钢板的铁损最大值的百分数,第二组表示硅钢板轧制厚度的 100 倍。

1.1.1.2 铁

(1) 生铁 生铁、铁合金属于炉料,即冶炼用原料。生铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金,工业生铁含碳量一般在 2.5%~4% 并含 Si、Mn、S、P 等元素,是用铁矿石经高炉冶炼的产品。

① 炼钢生铁 炼钢生铁含硅量不大于 1.7%,碳以 Fe_3C 状存在。故硬而脆,断口呈白色。

② 铸造用生铁 铸造生铁硅含量为 1.25%~3.6%,碳多以石墨状态存在,断口呈灰色。质软、易切削加工。主要用来生产各种铸铁件原料如床身、箱体等。