

钢材 质量检验

GANGCAI ZHILIANG JIANYAN

刘天佑 主编

冶金工业出版社

钢材质量检验

刘天佑 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2002

图书在版编目(CIP)数据

钢材质量检验/刘天佑主编. — 北京:冶金工业出版社,
1999.10 (2002 重印)
ISBN 7-5024-2335-4

I. 钢… II. 刘… III. 钢—质量检验 IV .TG142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30809 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)
责任编辑 程志宏 美术编辑 熊晓梅 责任校对 符燕蓉
北京昌平百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销
1999 年 10 月第 1 版, 2002 年 3 月第 2 次印刷
787mm×1092mm 1/16; 11.5 印张; 268 千字; 176 页; 2001—4000 册
23.00 元
冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893
冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081
(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

钢材、钢制件和半成品都要进行各种性能试验、检验和分析。钢的检验对于评价钢材质量的优劣、进行工程机械设计、合理选择材料、正确制订和在生产过程中改进加工工艺等有着极其重要的意义。随着科学技术的进步,钢的检验技术日益发展,检测手段日臻完善。这就要求冶金工作者不断地学习新的科学知识,了解钢的检验标准,熟悉和掌握先进的检验方法和检测手段。本书较详细地介绍了冶金工厂常用钢的检验技术,包括检验设备、检验原理和方法,以及有关的基础知识。其主要内容有:钢及钢材的分类和编号、钢的化学成分分析、宏观检验、金相检验、力学性能检验、工艺性能检验、物理性能检验、化学性能检验和无损检验等。

本书是根据原冶金工业部高等学校教材“九五”出版规划而编写的,适用于大中专院校钢铁冶金、金属压力加工和轧钢等专业,也可供从事钢铁生产的工人、检验员和技术人员学习参考。

参加本书编写工作的有本溪冶金高等专科学校刘天佑(第一、四、五、六、七章)、吴国玺(第二、八章)和李杰(第三、九章)。全书由刘天佑担任主编。在编写过程中,参考和引用了一些著作的部分内容,在此谨向作者表示谢意。

本书由东北大学李见教授担任主审。东北大学徐家桢教授、本溪冶金高等专科学校马贺利副教授、夏翠丽副教授审阅了全书,并对初稿提出了许多宝贵建议。本溪钢铁总公司特钢公司研究所孙丽娜高级工程师提供了部分金相照片,编者在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,不当与错误之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

编者

1998.6

72240106

目 录

第一章 概论	1
第一节 钢的分类及编号	1
第二节 常用钢材	6
第三节 钢材的检验	10
第二章 钢的化学成分检验	15
第一节 化学分析法	15
第二节 仪器分析	18
第三节 钢铁材料的火花鉴别	23
第三章 钢的宏观检验	31
第一节 酸浸试验	31
第二节 断口检验	37
第三节 塔形车削发纹检验	41
第四节 硫印试验	43
第四章 金相检验	45
第一节 金相试样的制备	45
第二节 金相显微镜	47
第三节 脱碳层深度测定	52
第四节 晶粒度检验	53
第五节 钢中非金属夹杂物的检验	56
第六节 钢中化学成分偏析的检验	59
第五章 力学性能检验	74
第一节 硬度试验	74
第二节 拉伸试验	80
第三节 冲击试验	91
第六章 工艺性能检验	95
第一节 钢的淬透性试验	95
第二节 焊接性能试验	99
第三节 金属切削性能试验	102
第四节 磨损试验	103
第五节 金属弯曲试验	105
第六节 金属反复弯曲试验	107
第七节 金属线材反复弯曲试验	109
第八节 金属顶锻试验	110
第九节 金属杯突试验	112
第十节 金属管材工艺性能试验	113
第七章 物理性能检验	117

第一节	密度测定·····	117
第二节	膨胀系数测定·····	119
第三节	电阻率测定·····	126
第四节	热分析法·····	131
第五节	热电势测定·····	135
第六节	磁性能测定·····	138
第八章	钢的化学性能检验·····	145
第一节	晶间腐蚀试验·····	145
第二节	抗氧化性能试验·····	148
第三节	大气腐蚀试验·····	150
第四节	全浸、间浸腐蚀试验·····	152
第九章	无损检验·····	154
第一节	超声波探伤·····	154
第二节	磁力探伤·····	157
第三节	射线探伤·····	160
附录		
附表 1	钢的检验标准汇总·····	165
附表 2	钢的各临界点及空冷组织和硬度表·····	171
附表 3	常用浸蚀剂·····	175
参考文献	·····	176

第一章 概 论

第一节 钢的分类及编号

钢是碳质量分数小于 2.11% 的铁碳合金,是现代化工业中用途最广、用量最大的金属材料。

钢按化学成分分为碳素钢(简称碳钢)和合金钢两大类。工业用碳钢除以铁和碳为主要成分外,还含有少量的锰、硅、硫、磷、氮、氧、氢等常存杂质。由于碳钢容易冶炼,价格低廉,性能可以满足一般工程机械、普通机器零部件、工具及日常轻工业产品的使用要求,故得到了广泛的应用。我国碳钢产量约占钢总产量的 90% 左右。合金钢是在碳钢的基础上,为了提高钢的机械性能、物理性能和化学性能,改善钢的工艺性能,在冶炼时有目的地加入一些合金元素的钢。在钢的总产量中,合金钢所占比重约 10%~15%,与碳钢相比,合金钢的性能有显著的提高和改善,随着我国钢铁工业的发展,合金钢的产量、品种、质量也将逐年增加和提高。

一、钢的分类

钢的种类繁多,为了便于生产、选用和比较研究并进行保管,根据钢的某些特性,从不同角度出发,可以把它们分成若干具有共同特点类别。下面简单介绍一些常用的分类方法。

(一)按化学成分分类

按化学成分可把钢分为碳素钢和合金钢两大类。

1. 碳素钢 按含碳量不同又可分为低碳钢(碳质量分数 $w(C) < 0.25\%$)、中碳钢($w(C) = 0.25\% \sim 0.60\%$)和高碳钢($w(C) > 0.60\%$)。

2. 合金钢 按钢中合金元素总含量可分为低合金钢(合金元素总质量分数小于 5%)、中合金钢(合金元素总质量分数为 5%~10%)和高合金钢(合金元素总质量分数大于 10%)。此外,还可根据钢中所含主要合金元素种类不同来分类,如锰钢、铬钢、硼钢、铬锰钢、铬锰钛钢等。

(二)按钢的质量分类

根据钢中所含有害杂质(S、P)的多少,工业用钢通常分为普通质量钢、优质钢和高级优质钢。

1. 普通质量钢 硫的质量分数 $w(S) \leq 0.035\% \sim 0.050\%$, $w(P) \leq 0.035\% \sim 0.045\%$ 。

2. 优质钢 $w(S) \leq 0.035\%$, $w(P) \leq 0.035\%$ 。

3. 高级优质钢 $w(S) \leq 0.025\%$, $w(P) \leq 0.025\%$ 。

(三)按金相组织分类

1. 按照平衡状态或退火组织可分为亚共析钢(其金相组织为铁素体和珠光体)、共析钢(其金相组织为珠光体)、过共析钢(其金相组织为珠光体和二次碳化物)和莱氏体钢(其金相组织类似白口铸铁,即组织中存在着莱氏体)。

2. 按正火组织可分为珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢和奥氏体钢。但由于空冷的速度随钢试样尺寸大小而有所不同,所以这种分类法是以断面不大的试样(通常选用 $\phi 25\text{mm}$)为准。

3. 按加热及冷却时有无相变和室温时的金相组织可分为铁素体钢(加热和冷却时,始终保

持铁素体组织)、奥氏体钢(加热和冷却时,始终保持奥氏体组织)和复相钢(如半铁素体或半奥氏体钢)。

(四)按冶炼方法分类

1. 按冶炼设备分类,可分为平炉钢(酸性平炉钢、碱性平炉钢)、转炉钢(酸性转炉钢、碱性转炉钢,其中又有底吹、侧吹、顶吹转炉钢)和电炉钢(电弧炉钢、电渣炉钢、感应炉钢和真空感应炉钢)。

2. 按钢的脱氧程度和浇注制度不同,又可将其分为沸腾钢、镇静钢和半镇静钢。合金钢一般均为镇静钢。

(五)按用途分类

按钢的用途分类是钢的主要分类方法。我国冶金行业标准(YB)和国家标准(GB)一般都是按钢的用途分类法制订的。

根据工业用钢的不同用途,可将其分为结构钢、工具钢、特殊性能钢三大类。

1. 结构钢

(1) 用作工程结构的钢。属于这类钢的有碳素结构钢、低合金结构钢。

(2) 用作各种机器零部件的钢。包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢,以及易削钢、低淬钢、冷冲压钢等。

2. 工具钢

工具钢包括碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢三种。它们可用以制造刀具、模具和量具等。

3. 特殊性能钢

这类钢具有特殊的物理、化学性能,它包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢、电工用钢、低温用钢等。

此外还有特定用途钢。如锅炉用钢、压力容器用钢、桥梁用钢、船舶用钢及钢筋钢等。

二、钢的编号方法

为了管理和使用方便,必须确定一个编号方法。编号的原则是:以明显、确切、简单的符号反映钢种的冶炼方法、化学成分、特性、用途、工艺方法等,同时还要便于书写、打印和识别而不易混淆。

我国现行钢号,基本上是按国家标准总局 1979 年颁布的钢铁产品牌号表示方法(GB221—79)确定的。产品牌号使用汉语拼音字母、化学元素符号和阿拉伯数字来表示。

汉语拼音字母表示产品名称、用途、特性和工艺方法。例如,碳素工具钢,采用“碳”字汉语拼音“TAN”的“T”表示;滚珠轴承钢选用字母“G”表示(表 1-1)。

化学元素采用国际化学符号表示。例如,锰用“Mn”表示,硅用“Si”表示,铬用“Cr”表示,镍用“Ni”表示等。

阿拉伯数字用来表示化学元素含量或表示牌号的顺序号、分类号及特性。例如,40Cr 钢,“40”表示钢中的平均含碳量为 $w(C)=0.40\%$; Q235 钢,“235”表示此钢的屈服点数值。

(一)结构钢

1. 碳素结构钢

按 GB700—79 标准,此类钢称为普通碳素钢,普通碳素钢分为甲类钢、乙类钢和特类钢三类。分别用字母 A、B、C 表示。

表 1-1 产品名称、用途、特性和工艺方法命名符号

名 称	采用的汉字及其汉语拼音		采用符号	字 体	位 置
	汉字	汉语拼音			
甲类钢(普通碳素钢用)			A	大写	牌号头
乙类钢(普通碳素钢用)			B	大写	牌号头
特类钢(普通碳素钢用)			C	大写	牌号头
氧气转炉钢(普通碳素钢用)	氧	YANG	Y	大写	牌号中
碱性空气转炉钢(普通碳素钢用)	碱	JIAN	J	大写	牌号中
易切削钢	易	YI	Y	大写	牌号头
电工用热轧硅钢	电热	DIAN RE	DR	大写	牌号头
电工用冷轧无取向硅钢	电无	DIAN WU	DW	大写	牌号头
电工用冷轧取向硅钢	电取	DIAN QU	DQ	大写	牌号头
电工用纯铁	电铁	DIAN TIE	DT	大写	牌号头
碳素工具钢	碳	TAN	T	大写	牌号头
滚珠轴承钢	滚	GUN	G	大写	牌号头
焊接用钢	焊	HAN	H	大写	牌号头
钢轨钢	轨	GUI	U	大写	牌号头
铆螺钢	铆螺	MAO LUO	ML	大写	牌号头
锚链钢	锚	MAO	M	大写	牌号头
地质钻探钢管用钢	地质	DI ZHI	DZ	大写	牌号头
船用钢	船	CHUAN	C	大写	牌号尾
汽车大梁用钢	梁	LIANG	L	大写	牌号尾
矿用钢	矿	KUANG	K	大写	牌号尾
压力容器用钢	容	RONG	R	大写	牌号尾
多层式高压容器用钢	高层	GAO CENG	gC	小、大写	牌号尾
桥梁钢	桥	QIAO	q	小写	牌号尾
锅炉钢	锅	GUO	g	小写	牌号尾
耐蚀合金	耐蚀	NAI SHI	NS	大写	牌号头
精密合金	精	JING	J	大写	牌号中
变形高温合金	高合	GAO HE	GH	大写	牌号头
铸造高温合金			K	大写	牌号头
铸钢	铸钢	ZHU GANG	ZG	大写	牌号头
轧辊用铸钢	铸辊	ZHU GUN	ZU	大写	牌号头
沸腾钢	沸	FEI	F	大写	牌号尾
半镇静钢	半	BAN	b	小写	牌号尾
高级	高	GAO	A	大写	牌号尾
特级	特	TE	E	大写	牌号尾
超级	超	CHAO	C	大写	牌号尾

甲类钢 保证机械性能供应的一类钢。用平炉冶炼时,其牌号表示为 A2、A3、A2F、A3F……;用氧气转炉冶炼时,其牌号表示为 AY2、AY3、AY3F……;用碱性空气转炉冶炼时,其牌号为 AJ2、AJ3、AJ2F、AJ3F……。

乙类钢 保证化学成分供应的一类钢。用平炉冶炼时,其牌号表示为 B2、B3、B2F、B3F……;用氧气转炉冶炼时,其牌号表示为 BY2、BY3、BY2F、BY3F……;用碱性空气转炉冶炼时,其牌号为 BJ2、BJ3、BJ2F、BJ3F……。

特类钢 既保证机械性能又保证化学成分供应的一类钢。用平炉冶炼时,其牌号表示为 C2、C3、C2F、C3F……;用氧气转炉冶炼时,其牌号表示为 CY2、CY3、CY2F、CY3F……;用碱性空气转炉冶炼时,其牌号表示为 CJ2、CJ3、CJ2F、CJ3F……。

专门用途的普通碳素钢,可按普通碳素钢的表示方法,但在钢号之尾附以用途字母。例如,桥梁用甲类 3 号钢写为 A3q。

碳素结构钢自 1988 年 10 月 1 日起实施新标准 GB700—88。从 1991 年 10 月 1 日起,原国家标准 GB700—79《普通碳素结构钢技术条件》作废。新标准采用五个钢号(Q195、Q215、Q235、Q255、Q275),取消了按甲类钢、乙类钢和特类钢的分类方法。钢号由代表屈服点的字母“Q”、屈服点下限值、质量等级符号(A、B、C、D)、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。例如:

Q235 - A·F 表示碳素结构钢,屈服点下限为 235MPa, A 等级沸腾钢。

Q235 - B 表示碳素结构钢,屈服点下限为 235MPa, B 等级镇静钢。

表 1-2 为新旧钢号对照表。

表 1-2 新旧 GB700 标准钢号对照

GB700—88		GB700—79	
Q195	不分等级,化学成分和力学性能(抗拉强度、断后伸长率和冷弯)均须保证。但轧制薄板和盘条这类产品时,力学性能的保证项目,可根据产品特点和使用要求,在有关标准中另行规定	Q195	化学成分与本标准 1 号钢的乙类钢 B1 相同,力学性能(抗拉强度、断后伸长率和冷弯)与甲类钢 A1 相同(A1 的冷弯试验是附加保证条件)。1 号钢没有特类钢
Q215	A 级 B 级(做常温冲击试验, V 型缺口)	A2 C2	
Q235	A 级(不做冲击试验) B 级(做常温冲击试验, V 型缺口) C 级 D 级(作为重要焊接结构用)	A3 C3	(附加保证常温冲击试验, U 型缺口) (附加保证常温或 -20℃ 冲击试验, U 型缺口)
Q255	A 级 B 级(做常温冲击试验, V 型缺口)	A4 C4	(附加保证冲击试验, U 型缺口)
Q275	化学成分和力学性能均须保证	C5	

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢按含锰量不同,分为普通含锰量和较高含锰量两组。

普通含锰量的优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,数字表示钢中平均含碳量的万分之几。如 20 钢,平均含碳量为 $w(C) = 0.20\%$; 08 钢,平均含碳量为 $w(C) = 0.08\%$ 。

较高含锰量的优质碳素结构钢的牌号用两位数字和“Mn”表示,数字表示钢中平均含碳量的万分之几。例如 20Mn、65Mn。

沸腾钢、半镇静钢在牌号尾部分别加“F”、“b”(镇静钢不标符号)。例如 08F、10b。

高级优质碳素结构钢,在牌号尾部加“A”。例如 20A。

专门用途的优质碳素结构钢,可按优质碳素结构钢的表示方法,但在钢号之尾附以用途字母。例如锅炉钢,20g。

3. 低合金结构钢和合金结构钢

这两类钢的牌号采用含碳量(两位数字)、合金元素及含量、优质程度等四者来表示。

含碳量用两位数字表示,数字表示钢中平均碳的质量含量的万分之几。

主要合金元素含量,除个别钢号外,一般都用质量含量的百分之几表示。若合金元素的质量分数低于 1.50%,在钢号中只标出元素,而不标明含量,若合金元素的平均质量分数为 1.50%~2.49%、2.50%~3.49%……,则相应地在元素符号后标出阿拉伯数字 2、3……。

高级优质钢则在钢号后加一个字母“A”。

例如,20Cr,平均含碳量为 $w(C)=0.20\%$,铬的质量分数低于 1.5%。18Cr2Ni4WA,平均含碳量为 $w(C)=0.18\%$,铬含量为 $w(Cr)=1.5\% \sim 2.49\%$,镍含量为 $w(Ni)=3.5\% \sim 4.49\%$,钨的质量分数低于 1.5%,高级优质钢。

滚动轴承钢是一类专用钢,为表示钢的用途,在钢号前面冠以“G”(“滚”字的汉语拼音字首),而不标出含碳量。滚动轴承钢一般为铬轴承钢,其钢号为“G”字母后面加“Cr+数字”,数字表示含 Cr 量的千分之几,其它元素仍用百分之几表示。例如 GCr15 表示 Cr 含量为 $w(Cr)=1.5\%$ 的滚动轴承钢;GCr15SiMn 表示 Cr 的质量分数为 1.5%,Si、Mn 的质量分数分别小于 1.5% 的滚动轴承钢。滚动轴承钢为高级优质钢,钢号后不再标“A”字母。

4. 其它结构钢

(1)易切削钢 易切削钢用字母“Y”和阿拉伯数字表示,阿拉伯数字表示平均含碳量的万分之几。硫易切削钢或磷易切削钢的牌号中不标出易切削元素符号,而含钙、铅、硒等易切削元素的易切削钢,在牌号尾部应标出易切削元素符号。含锰量较高的易切削钢,在牌号后标出 Mn 元素符号。例如:Y15Pb,含碳为 $w(C)=0.15\%$,含易切削元素铅 $w(Pb)=0.15\% \sim 0.35\%$ 。

(2)低淬透性钢 低淬透性钢是专供感应加热淬火用的淬透性特别低的钢。钢中增加淬透性的元素(主要是锰和硅)含量降低到最低限度,同时加入少量强碳化物形成元素(如钛、钒)。其钢号表示方法基本与合金结构钢相同,但牌号尾部加一字母“d”,表示低淬透性钢。例如,55Tid。

(二)工具钢

1. 碳素工具钢

碳素工具钢牌号采用汉语拼音字母符号、含碳量、含锰量及优质程度四者来表示。

在钢号中,冠以汉语拼音字母“T”,表示碳素工具钢。

含碳量一律以平均含量的千分之几表示,采用阿拉伯数字表示之。

锰含量较高的碳素工具钢,在其牌号中的阿拉伯数字后加 Mn 元素符号。

高级优质碳素工具钢,应在牌号尾部加“A”。

例如:T7 钢,优质碳素工具钢,平均含碳量为 $w(C)=0.70\%$ 。T10A 钢,高级优质碳素工

具钢,平均含碳量为 $w(C) = 1.0\%$ 。

2. 合金工具钢

合金工具钢钢号采用含碳量、合金元素及含量这三者来表示。

含碳量 $w(C) \geq 1.0\%$ 时,钢号中不必标出含碳量;含碳量 $w(C) < 1.0\%$ 时,钢号中用含碳量的千分之几表示。

合金元素含量的表示方法,与合金结构钢基本相同。但对含铬量低的合金工具钢,其含铬量以千分之几表示,并在含量之前加一个“0”。

例如:Cr06 钢,平均含碳量 $w(C) > 1.0\%$ (实际为 $1.3\% \sim 1.45\%$),含合金元素铬,其含量为 $w(Cr) = 0.6\%$ 。9Mn2V 钢,平均含碳量 $w(C) < 1.0\%$ (实际为 $0.85\% \sim 0.95\%$),合金元素锰含量为 $w(Mn) = 1.50\% \sim 2.49\%$ (实际为 $1.70\% \sim 2.00\%$),钒含量 $w(V) < 1.50\%$ (实际为 $0.1\% \sim 0.25\%$)。

高速工具钢钢号除个别外,只用合金元素及其含量来表示。合金元素含量表示方法与合金结构钢相同。例如:W6Mo5Cr4V2 钢,含碳量不标出(实际 $w(C) = 0.80\% \sim 0.90\%$),钨含量 $w(W) = 6\%$ (实际为 $5.50\% \sim 6.75\%$),钼含量 $w(Mo) = 5\%$ (实际为 $4.50\% \sim 5.50\%$),铬含量 $w(Cr) = 4\%$ (实际为 $3.80\% \sim 4.40\%$),钒含量 $w(V) = 2\%$ (实际为 $1.75\% \sim 2.20\%$)。如果两个钢号除含碳量之外,其余合金元素含量均相同,则为了区别起见,仅标出一个含碳量(含碳量较高钢号)。如W18Cr4V和9W18Cr4V,它们的含碳量分别为 $w(C) = 0.70\% \sim 0.80\%$ 和 $w(C) = 0.90\% \sim 1.00\%$,其余都一样。

合金工具钢均属于高级优质钢,故钢号后不再标出“A”。

(三)特殊性能钢(不锈钢、耐热钢和高电阻电热合金钢)

这几个钢种都用含碳量、合金元素及其含量来表示钢号。

含碳量以千分之几标出;含碳量 $w(C) \leq 0.08\%$ 时,钢号前用一个“0”表示,含碳量 $w(C) \leq 0.03\%$ 时,钢号前用“00”表示。

合金元素及其含量的表示方法与合金结构钢相同。如:

2Cr13 钢,平均含碳量 $w(C) = 0.2\%$ (实际为 $0.16\% \sim 0.25\%$),含铬量 $w(Cr) = 13\%$ (实际为 $12.00\% \sim 14.00\%$)。

0Cr19Ni9 钢,含碳量 $w(C) \leq 0.08\%$,含铬量 $w(Cr) = 19\%$ (实际 $18.00\% \sim 20.00\%$),含镍量 $w(Ni) = 9\%$ (实际为 $8.00\% \sim 10.50\%$)。

第二节 常用钢材

钢水的绝大部分铸造成钢锭或钢坯,然后经压力加工(热轧、冷轧、锻造和拉拔),制成各种不同断面形状和规格尺寸的钢材,以满足工程建筑结构、机械制造、工具制作的需要。下面简单介绍钢材的生产知识、常用钢材和钢材表面缺陷。

一、钢材生产知识

将钢锭或钢坯进行压力加工便可制成钢材。所谓压力加工,就是使金属在外力作用下,产生塑性变形,从而获得所要求的断面形状和规格尺寸产品的加工方法。压力加工的作用不仅是通过塑性变形改变金属的形状和尺寸,而且能改善其组织和性能。压力加工方法有轧制、锻造、拉拔、挤压、冲压及爆炸成型等多种,钢材生产主要采用前三种方法。

1. 轧制

轧制是指金属在轧机旋转轧辊的辗压下,进行塑性变形的一种压力加工方法。在钢的生产总量中,除少部分采用铸造和锻造等方法直接制成器件以外,其余占 90% 以上的钢都须经过轧制成材,轧制是钢铁工业中最主要的加工方法。

生产不同品种的钢材,其轧制方式是不同的,一般可分为纵向轧制(纵轧)、横向轧制(横轧)和斜向轧制(斜轧)。

轧制是在轧制设备中进行的。轧制设备也称轧机成套机组,分为主要设备(轧钢机机座)和辅助设备(如辊道、升降台、剪切机、锯机、矫直机、热处理设备以及控制设备等)。

轧机的种类很多。按轧机用途可分为轧制方坯、扁坯或板坯等的钢坯轧机和轧制型材、板(带)材、管材等的成品轧机,以及轧制车轮、轮箍、钢球等的特种轧机。按轧辊在机架内的布置方式可分为轧辊在机架中水平布置的水平轧机和轧辊在机架内垂直布置的立辊轧机,以及轧辊在机架内既有水平布置又有垂直布置的轧机。按轧机的排列方式可分为仅有一架机座的单机座轧机;数架机座横向顺序排列的横列式轧机;数架机座纵向顺序排列的纵列式轧机;数架机座依次纵向顺序排列的连续式轧机;既有非连续式轧机又有连续式轧机组合的半连续式轧机。

通常在某类轧机名称前加一组表示轧辊尺寸(mm)的数字,构成轧机的名称。

钢坯轧机和型钢轧机一般将轧辊直径(或齿轮机座齿轮的节圆直径)数字加在轧机名称前来命名的,例如 1150 初轧机,就是轧辊直径为 1150mm 的初轧机。板带钢轧机一般将轧辊辊身长度数字加在轧机名称前来命名,例如 1700 钢板连轧机,表示该轧机轧辊辊身长度为 1700mm,能轧制最宽为 1500mm 的钢板或带钢。钢管轧机一般用所轧制钢管的最大外径或外径的尺寸范围和轧机的类型来命名,例如 140 无缝管轧机,20~102 焊管机。

钢材轧制也称轧钢。轧钢工艺过程一般包括原料(钢锭或钢坯)清理、加热、轧制、轧后冷却及精整等工序。轧钢的原料是钢锭或钢坯,轧制加热前必须对原料表面的缺陷进行清理,清理方法有火焰、风铲、喷砂清理,砂轮研磨以及车削剥皮等方法。轧前需要加热(一般为 1100~1300℃),使之成为塑性好的奥氏体状态,然后进行轧制(热轧)。轧制是轧钢生产的中心环节,钢锭先经过初轧机或钢坯轧机轧成各种规格尺寸的半成品——钢坯(方坯、扁坯或板坯等),这一过程叫初轧或开坯。将钢坯在成品轧机上进行轧制,可获得要求的形状和尺寸的钢材。成材的轧制分为两个阶段:粗轧阶段,采取较大压下量,以减少轧制道次;精轧阶段,采取较小的压下量,以获得精确的尺寸和良好的表面质量。热轧终轧温度一般为 800~900℃。轧后可采用缓冷、空冷和通风或喷水等冷却方式。轧后的钢材还需进行精整处理,精整工序通常包括:剪切、矫直、表面加工、热处理、检查分级、成品质量检验、打印记和包装等。

轧制有热轧和冷轧两种方法。

2. 锻造

锻造是用锻锤的往复冲击力或压力机(油压或水压)的压力,使金属坯料产生塑性变形,从而获得具有一定形状、尺寸和内部组织的毛坯或零件的加工方法。

锻造是制造机器零件毛坯的一种主要方法。锻件经过塑性变形和再结晶后,晶粒细化,组织致密,并且内部的杂质按纤维方向排列,从而改善了材料的机械性能,同时,现代化的锻造生产方法具有很高的劳动生产率。因此,锻造加工在机械、电力、电子、交通、国防等工业部门以至生活用品的生产中都占有重要的地位。各种机械中受力复杂的重要零件,如主轴、传动轴、

曲轴、齿轮、凸轴、叶轮、叶片等,大都采用锻件。在飞机上锻件(包括冲压件)的重量约占各种零件的 85%,在汽车上占 80%,机车上占 60%。

按照所用设备和变形方式的不同,锻造方法可分为自由锻造和模型锻造两大类。

自由锻造是将加热好的金属坯料放在锻造设备(空气锤、蒸汽锤及水压机等)的上、下抵铁之间施加冲击力或压力,使之产生塑性变形,从而获得所需锻件的加工方法。坯料在上、下抵铁之间变形时,一般都是自由流动的,故称自由锻造,简称自由锻。

按照使用的设备和锻造力的性质不同,自由锻可分为锤上自由锻和水压机上自由锻两类。锤上自由锻适于锻造 0.5~1t 以下的中小型锻件,大型锻件要在水压机上锻造。

自由锻使用的设备和工具具有很大的通用性,不需要造价昂贵的专用模具,金属坯料在上、下抵铁之间自由变形,不受模具限制,锻件的形状和尺寸主要由锻工的操作技术来保证,可以锻造从几十克到几百吨重的锻件。但是自由锻造对锻工的技术水平要求高,锻件的尺寸精度低,加工余量大,金属损耗多,而且生产率低,劳动条件差、强度大。因此,只有在单件和小批量生产的条件下,采用自由锻才是合理的。此外,对于同一锻件,自由锻时所需要的设备吨位比模锻时小得多,因而对于大型锻件它几乎是惟一的锻造方法,在重型机器制造中具有特别重要地位。

模型锻造简称模锻,是将坯料放在锻模模膛内承受冲击力或压力,以产生变形获得所需模锻件的加工方法。所用坯料常为圆钢、方钢等。

与自由锻相比,模锻的生产率高三、四倍以至十几倍;锻件表面光洁,尺寸精度高;加工余量减少,形状复杂程度提高,材料利用率高,可节约金属材料 50%~200%。此外,模锻操作简单、易于实现机械化,锻件生产成本低。但是,模锻的设备费用高;锻模制造周期长、成本高,而且是专用的;由于受设备吨位限制,模锻件一般不能太大。因此,模锻适用于中小型锻件的成批和大量生产。

按照使用设备不同,模锻可分为锤上模锻、曲柄压力机上模锻、平锻机上模锻、螺旋压力机上模锻及其它专用设备上的模锻。

为了提高金属的塑性和减少变形抗力,锻造通常都将金属坯料加热至高温状态下进行,对于碳钢锻件,要将坯料加热到 Fe-Fe₃C 相图中单相奥氏体区的温度。

3. 拉拔

外加拉力作用于被拉(拔)金属的前端,将金属坯料从小于坯料横断面的模孔中拉(拔)出,使其断面减小及长度增加,获得所需形状和尺寸要求产品的一种压力加工方法,叫做拉拔。拉拔一般在冷态(常温)下进行,也叫冷拉或冷拔。它广泛应用于线、管、棒和条材等产品的生产。

直径小于 6.5mm 的线材,由于断面小、温降较大,一般用热轧方法生产,其性能和尺寸不能满足要求。在这种情况下则以热轧线材为原料,采用多次冷拉的方法,获得直径小于 6.5 mm 的产品,例如钢丝。钢丝的冷拉叫拉(拔)丝,是目前生产金属丝的重要方法。

冷拉也用于生产直径稍大(50mm 以下)、尺寸精确、表面光洁的圆钢、六角钢等棒、条材。对于直径 76mm 以下的钢管,冷拔则是主要的加工方法。热轧后的管坯通过模孔和心棒之间的环形间隙拔出,使直径和壁厚减小,得到冷拔管。此外冷拔也常用于生产有色金属线、管、棒、条材以及某些异形材。

冷拉几道次之后金属会产生加工硬化,为了消除加工硬化、提高塑性,继续冷拉,要进行一次或数次中间再结晶退火。某些冷拉产品最终还要进行一次去应力退火,消除内应力,防止变

形和开裂。

二、常用钢材

钢材品种繁多,目前已达两万种以上。按国家统一分类方法即按分配目录分类可分为十六类。归纳起来为型钢、钢板、钢管、金属制品和其它钢材等五大类。其中型钢包括重轨、轻轨、大型型钢、中型型钢、小型型钢、优质型钢、冷弯型钢和线材;钢板包括中厚钢板、薄钢板、硅钢片和带钢;钢管包括无缝钢管和焊接钢管;金属制品包括钢丝、焊丝、钢丝绳;其它钢材包括钢轨配件、鱼尾板、车轮、盘件、环件、车轴坯、锻件坯和钢球料等。下面对十六类钢材分别作以简单介绍。

1. 重轨 每1米重量大于24kg的钢轨,包括起重机轨、接触钢轨和工业轨。

2. 轻轨 每1米重量等于或小于24kg的钢轨。

3. 大型型钢 包括18以上的工字钢和槽钢(18表示工字钢、槽钢的高度,单位为cm),90mm以上圆、方钢(90mm表示圆钢的直径或方钢断面边长),16以上的角钢(16表示角钢的边长,单位为cm),断面为 1000mm^2 以上的扁钢以及大型异型钢。

4. 中型型钢 包括16以上的工字钢和槽钢,38~800mm的圆钢,50~75mm的方钢,5~14的角钢,断面为 $500\sim 1000\text{mm}^2$ 的扁钢以及中型异型钢等。

5. 小型型钢 包括10~36mm的圆钢、螺纹钢、铆钉钢,10~25mm的方钢,4.5以下的角钢,断面为 500mm^2 以下的扁钢,以及窗框钢、农具钢和小型异型钢等。

6. 线材 直径为6~9mm的热轧圆钢和10mm以下的螺纹钢(热轧圆盘条)。

7. 钢带 也称带钢。包括热轧普通钢带、冷轧普通钢带、热轧优质钢带、冷轧优质钢带和镀涂钢带。

8. 中厚钢板 厚度大于4mm的钢板。包括普通中厚钢板和优质中厚钢板。

9. 薄钢板 厚度等于或小于4mm的钢板。包括热轧普通薄板、热轧优质薄板、冷轧普通薄板、冷轧优质薄板以及不锈钢薄钢板和镀涂薄钢板等。

10. 硅钢片 即电工用硅钢薄板。包括热轧硅钢片和冷轧硅钢片。

11. 优质型材 用优质钢材制成的圆钢、方钢、扁钢、六角钢、以及用高温合金、精密合金制成的各种形状的型材等。

12. 无缝钢管 由圆钢或坯经穿孔制成的断面上没有焊缝的钢管。包括热轧无缝钢管和冷轧(拔)无缝钢管。

13. 焊接钢管 用钢带或薄钢板卷焊而成,断面上有焊接缝的钢管。按焊缝形式可分为直缝焊管和螺旋焊管;按用途又可分为水煤气输送管、电线套管等多种。

14. 冷弯型钢 原属于中型型钢,现单独列出。冷弯型钢是以钢板或带钢为原料,在冷态(常温)下,通过一系列的成型辊,将其弯曲成所要求的形状和尺寸的型钢。

15. 其它钢材 包括钢轨配件、鱼尾板、车轮、盘件、环件、车轴坯、锻件坯、钢球料等。

16. 金属制品 包括钢丝、焊丝、钢丝绳和钢绞线等。

三、钢材的表面缺陷

钢材在生产、运输、装卸、保管过程中,由于某种原因,可能产生用肉眼能直接观察、鉴别的钢材表面缺陷,称为外观缺陷。外观缺陷包括外形(及其尺寸)缺陷和表面质量缺陷。影响钢材表面完整性和光洁度等的表面质量的缺陷,统称为表面质量缺陷,简称表面缺陷。表面缺陷不仅影响钢材外观,而且容易引起锈蚀、应力集中,会降低钢材性能,严重时导致钢材报废。本

节仅讨论钢材的表面缺陷。最常见的钢材表面缺陷有：折叠、划痕、结疤、麻面(麻点)、凹坑、分层、凸泡和气泡、表面裂纹等。

1. 折叠 沿钢材长度方向表面有倾斜的近似裂纹的缺陷，称折叠。通常是由于钢材表面在前一道锻、轧中所产生的突出尖角或耳子，在以后的锻、轧时压入金属本体叠合形成的。折叠一般呈直线状，亦有的呈锯齿状，分布于钢材的全长，或断续状局部分布，深浅不一，深的可达数十毫米，其周围有比较严重的脱碳现象，一般夹有氧化铁皮。

钢材表面的折叠，可采用机械加工方法进行去除。型材表面因不再进行机械加工，如果表面存在严重的折叠，就不能使用，因为在使用过程中会由于应力集中造成开裂或疲劳断裂。

2. 划痕 在生产、运输等过程中，钢材表面受到机械性刮伤形成的沟痕，称划痕，也称刮伤或擦伤。其深度不等，通常可看到沟底，长度自几毫米到几米，连续或断续分布于钢材的全长或局部，多为单条，也有双条和多条的划痕。

划痕会降低钢材的强度，对于薄板还会造成应力集中，在冲压时成为裂纹发生和扩展的中心。对于耐压容器，严重的划痕可能成为使用过程中发生事故的根源。

3. 结疤 钢材表面呈舌状、指甲状或鱼鳞状的片块，称结疤。它是钢锭表面被污溅的金属壳皮、凸块，经轧制后在钢材表面上形成的。与钢材相连牢固的结疤，称生根结疤；与钢材相连不紧或不相连，粘着在表面上的结疤，称为不生根结疤。不生根结疤容易脱落，脱落后表面形成凹坑。有些结疤的一端翘起，称翘皮。

4. 麻面(麻点) 麻点是钢材表面凹凸不平的粗糙面。大面积的麻点称麻面。板材(尤其是薄板)若存在麻点，不仅可能成为腐蚀源，还会在冲压时产生裂纹。弹簧上有麻点，在使用过程中容易造成应力集中，导致疲劳断裂。

5. 凹坑 周期性或不规律地分布于钢材表面的凹陷(轧辊表面有粘结物，轧制时粘结物压入钢材表面而形成)，称为凹坑或压坑。小凹坑称为麻点。

6. 分层 由于非金属夹杂、未焊合的内裂、残余缩孔、气孔等原因，使剪切后的钢材断面呈黑线或黑带，将钢材分离成两层或多层的现象，称为分层。

7. 凸泡和气泡 钢材表面呈无规律分布的圆形凸起，称凸泡，凸泡边缘比较圆滑。凸泡破裂后，形成鸡爪形裂口或舌状结疤，称气泡。

8. 表面裂纹 钢材表面出现的网状龟裂或裂口。它是由于钢中硫高锰低引起热脆，或因铜含量过高、钢中非金属夹杂物过多所致。沿着变形方向分布的裂纹是由于锻轧后处理不当而引起的。钢锭因为脱氧或浇注不当，也可能形成横裂纹或纵裂纹，它们在轧制过程中扩大，并会改变形状。

第三节 钢材的检验

冶金工厂生产各种钢材，出厂时都要按照相应的标准及技术文件的规定进行各项检验(试验)。科学试验(检验)是科学技术发展的基础，它标志着科学技术发展的水平，是推动科学技术发展的重要手段。冶金产品检验是冶金工业发展的基础，它标志着冶金工业技术水平和冶金产品的质量。应使用各种有效的手段对半成品和成品进行质量检验，检验工序必须作为生产流程中的一个重要工序。

钢材质量检验对于指导冶金工厂不断改进生产工艺、提高产品质量、生产符合标准的钢

材,以及指导用户根据检验结果合理选用钢材、正确进行冷、热加工和热处理都具有重要的实际意义。通过对钢材产品和半成品的检验,可以发现钢材质量缺陷,查明产生缺陷的原因,指导各生产环节(部门)制定相应措施将其消除或防止,同时也尽可能杜绝将有缺陷的不合格钢材供应给用户。此外,随着检验方法的改进和不断完善,可以进一步提高检验质量和准确性,提高检验速度,缩短检验周期,也可促进新钢种的开发研究和新产品的试制。

一、检验标准

衡量冶金产品质量需要有一个共同遵循的准则,这就是技术标准。对冶金产品制订出符合实际的标准,并在整个生产过程和全行业中贯彻执行,则产品质量就有了保证,并可逐步得到提高。有了技术标准之后,还必须采用保证产品所需的各种检验方法所规定的标准,这就是方法标准。它是评价和检验产品质量高低的技术依据。

我国已初步形成符合我国国情,具有一定水平、一定规模的冶金产品标准体系。自 1955 年重工业部颁布第一批 35 个试验方法标准以后,新的标准逐年增加,到目前为止,已建立了各种检验方法标准 602 个,基本满足了目前冶金产品生产和使用的需要。

钢的检验方法标准包括化学分析、宏观检验、金相检验、力学性能检验、工艺性能检验、物理性能检验、化学性能检验、无损检验以及热处理检验方法标准等。每种检验方法标准又可分为几个到几十个不同的试验方法。每个试验方法都有相应的国家标准或冶金行业标准,有的试验方法还有企业标准(详见附表 1)。

二、检验项目

钢铁产品品种不同,要求检验的项目也不同,检验项目从几项到十几项不等,对每一种钢铁产品必须按相应技术条件规定的检验项目逐一进行认真的检验,每个检验项目必须一丝不苟地执行检验标准。表 1-3 列出了经常遇到的九个钢种所要求的检验项目。

表 1-3 钢 材 检 验 项 目

钢 种	标 准 号	检 验 项 目
优质碳素结构钢	GB699—88	化学成分,酸浸试验,断口,显微组织,脱碳层,晶粒度,非金属夹杂物,硬度,拉伸试验,冲击试验,顶锻,尺寸,表面质量等
合金结构钢	GB3077—88	化学成分,酸浸试验,断口,塔形发纹,显微组织,脱碳层,晶粒度,非金属夹杂物,硬度,拉伸试验,冲击试验,顶锻,末端淬透性,尺寸,表面质量等
碳素工具钢	GB1298—86	化学成分,酸浸试验,断口,脱碳层,珠光体组织,网状碳化物,退火硬度,试样淬火硬度,淬透性,尺寸,表面质量等
合金工具钢	GB1299—85	化学成分,酸浸试验,断口,脱碳层,珠光体组织,网状碳化物,共晶碳化物不均匀度,布氏硬度,洛氏硬度,磁性,外形,尺寸,表面质量等
铬轴承钢	YB9—68	化学成分,火花试验,酸浸试验,脱碳层,珠光体组织,网状碳化物,带状碳化物,碳化物液析,非金属夹杂物,退火钢材布氏硬度,尺寸,表面质量等
高速工具钢棒	GB9943—88	化学成分,酸浸试验,蔡状断口,脱碳层,共晶碳化物不均匀度,退火硬度,试样淬火、回火硬度,尺寸,表面质量等
弹簧钢	GB1222—84	化学成分,酸浸试验,断口,显微组织,脱碳层,晶粒度,石墨碳,非金属夹杂物,硬度,拉伸试验,末端淬透性,外形,尺寸,表面质量等
不锈钢棒	GB1220—84	化学成分,酸浸试验,非金属夹杂物,硬度,拉伸试验,冲击试验,耐蚀性能,外形,尺寸,表面质量等