

# 钢的成分、组织与性能

(第二版)

第二分册：非合金钢、低合金钢和微合金钢

崔崑 编著

第二分册



科学出版社

# 钢的成分、组织与性能

(第二版)

第二分册:非合金钢、低合金钢和微合金钢

崔 崑 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

《钢的成分、组织与性能》系列著作全面介绍常用钢类的成分、组织、性能,以及它们之间的关系,同时介绍各钢类相关标准及工程应用。本书为第二分册,介绍非合金钢、低合金钢与微合金钢化学成分、显微组织、力学性能及三者之间的相互关系,同时介绍此类钢的分类方法、工程应用、相关国家标准与行业标准等。

本书适合从事钢材研究和应用的科研人员、工程技术人员阅读,也适合高等院校金属材料类专业的师生阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢的成分、组织与性能. 第二分册,非合金钢、低合金钢和微合金钢/崔崑编著. —2版. —北京:科学出版社,2019. 1  
ISBN 978-7-03-059779-3

I. ①钢… II. ①崔… III. ①钢-研究②合金钢-研究 IV. ①TG142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 276912 号

责任编辑:牛宇锋 / 责任校对:郑金红 郭瑞芝  
责任印制:师艳茹 / 封面设计:刘可红

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天津文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 10 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019 年 1 月第 二 版 印张:16 1/4

2019 年 1 月第一次印刷 字数:318 000

定价:96.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 第二版前言

钢铁工业是我国国民经济的重要支柱产业,在经济建设、社会发展、国防建设等方面发挥着重要作用,为保障国民经济稳定快速发展做出了重要贡献。1996年我国粗钢产量达1.0002亿t(未包含港澳台数据),跃居世界第一产钢大国,2010年达到6.3亿t(当年世界钢产量为14.1亿t)。近年我国的钢产量增长趋缓,主要任务是研发高技术水平品种,淘汰落后产能。目前,我国大型钢铁企业和一些技术先进的钢铁企业的吨钢综合能耗已接近国际先进水平。2017年我国粗钢产量达到8.317亿t(当年世界钢产量为16.912亿t)。

近年来,我国钢铁工业在大型化和现代化方面有了很大的进展,许多企业优化了工艺流程,建立了高效率、低成本的洁净钢生产体系,提高了钢的冶金质量。此外,控制轧制和控制冷却技术已广泛应用,以强化冷却技术为特征的新一代控冷技术有了较快的发展和应用。我国近年兴建的中厚钢板厂已引进和自主开发了一些具有国际先进水平的轧后控冷系统,可以生产出高强度并具有良好的韧性的中厚钢板,提高了众多品种的低合金钢和微合金钢的使用性能,提高了产品的规格。

建筑、机械、汽车等领域是推动钢材需求的主要部门。为节约资源,国家积极引导和促进高效钢材的应用,提倡在建筑领域使用400MPa及以上高强螺纹钢取代335MPa螺纹钢。在新修订的国家标准中,取消了335MPa级的螺纹钢牌号。2007年我国成立了汽车轻量化技术创新战略联盟,努力发展高强汽车用钢以实现商用汽车减重300kg的目标。2006~2017年,我国陆续制定了《汽车用高强度热连轧钢板及钢带》系列国家标准,包括7个部分;还制定了《汽车用高强度冷连轧钢板及钢带》系列国家标准,包括11个部分,其中包括双相钢、相变诱导塑性钢、复相钢、液压成形用钢、淬火配分钢、马氏体钢、孪晶诱导塑性钢等,并已成功开发出1200MPa、1500MPa高强钢,为汽车轻量化提供了支持。

机械、汽车、航空工业的发展促进了机械制造用钢(包括弹簧钢和轴承钢)的发展。新修订的国家标准中,对这类钢的硫、磷和其他杂质元素的含量有了更为严格的要求,对低倍组织和非金属夹杂物的要求也更为严格。为满足航空发动机、直升机等高新技术领域的需求,国内外开发出高性能的轴承齿轮钢。用这些钢制成的零部件,有更好的耐磨性、韧性,以及更长的机械疲劳和接触疲劳寿命,因此,具有更高的使用寿命和安全性。

模具钢是工具钢中的一种。由于用模具生产零件具有材料利用率高、制品尺寸精度高等优点,能极大地提高生产率,在工具钢中,模具钢产量的比例日益增加。

因此,最近在修订国家标准《合金工具钢》(GB/T 1299—2000)时,将其名称更改为《工模具钢》(GB/T 1299—2014),新纳入的模具钢牌号有 46 个。

为节约战略资源镍,国内外加速了现代铁素体不锈钢的研究和发展,开发出一些新的铁素体不锈钢和超级铁素体不锈钢。我国高铬铁素体不锈钢产量份额(包括高铬马氏体不锈钢)在 20 世纪 80 年代仅占我国不锈钢产量的 10% 左右,近年已接近 20%。

耐热钢主要应用于大型火电机组和内燃机。在新修订的这种钢的国家标准或行业标准中,都加严了对成分、组织和质量的控制,并引进了国内外一些使用性能良好的钢种。高温合金的发展不仅推动了航空/航天发动机等国防尖端武器装备的技术进步,而且促进了交通运输、能源动力等国民经济相关产业的技术发展。金属材料领域中许多基础概念、新技术、新工艺都曾率先在高温合金研究领域中出现。进入 21 世纪以来,世界各国在高性能高温合金材料研究方面的步伐明显加快,需要对高温合金发展的新进展作一简单评述,主要包括:成分设计方法,组织结构等的定量表征,以及变形、强化与损伤过程的研究。

《钢的成分、组织与性能》一书的上、下册于 2013 年出版,距今已 5 年有余。在此期间,我国钢铁的生产技术不断进步,产品质量和性能持续提升,开发出一些高技术产品,更新了大部分国家标准并制定出一些新的标准。因此有必要对原书进行修订,再版发行。

在《钢的成分、组织与性能》第二版中更新了 58 个与钢种有关的国家标准或行业标准,还列入了 27 个新制定的与钢种有关的国家标准或行业标准。

为便于读者查阅,本书由原来的上、下册,更改为第二版的六个分册。其中,第一分册:合金钢基础,包括原书的第 1 章至第 4 章,第二分册:非合金钢、低合金钢和微合金钢,以原书的第 5 章为主干,第三分册:合金结构钢,包括原书的第 6 章和第 7 章,第四分册:工模具钢,以原书的第 8 章为主干,第五分册:不锈钢,以原书的第 9 章为主干,第六分册:耐热钢与高温合金,以原书的第 10 章为主干。

由于编著者学识有限,书中难免存在不妥和疏漏之处,尚祈读者不吝指正。

崔 崑

2018 年 9 月

## 第一版前言

人类现代文明与钢材的大量生产和使用密不可分。高技术 在钢铁工业上的应用使钢铁工业成为世界上最高产、最高效和技术最先进的工业之一，因而钢材价格也比较低。钢材具有良好的综合性能，是世界上最为常见的多用途制造材料。钢材制成的产品服役报废后，绝大部分可以回收利用，具有良好的循环再生能力。环保技术与钢铁生产工艺的结合，使得钢铁生产中空气排尘与污泥外排正在减少，产生的固体废弃物已近全部回收利用，因此钢铁材料是与环境协调、友好的材料。与其他基础材料相比，钢铁材料，特别是作为基础结构材料，在 21 世纪仍将占据主导地位。

近年来国内陆续出版了不少有关各类专用钢的书籍，也出版了一些有关钢铁材料工程的大型工具书。作者撰写本书的目的是想在一部作品中对工程上常用的钢类(不包括电工用钢)作较全面的介绍，着重阐明合金元素在钢中的作用，钢的成分与其热处理特点、组织、性能之间的关系及其工程应用。

2005 年，国家标准化管理委员会召开了全国标准化工作会议，要求加大采用国际标准和国外先进标准的力度，进一步促进提高我国产品、企业和产业的国际竞争力。之后有关部门加快了钢标准的修订和制定工作，我国国家标准与国际标准一致性水平大幅提升，我国钢标准体系更加科学、技术更加先进、市场更加适应、贸易更加便利。本书尽量采用最新制定的国家标准和行业标准，对国内常引进的国外钢号和各类材料的发展方向亦作了适当的介绍。

本书重视钢种的热处理工艺、性能和应用，特别是国家标准中列入的钢号，使从事钢铁材料工程的科技人员能依据部件或构件的服役条件合理选用钢材。

全书共 10 章。第 1 章简要介绍钢的生产过程及其对钢的冶金质量的影响。自 20 世纪中叶以来，世界钢铁生产工业装备技术快速发展，普遍采用了炉外精炼、连铸等新技术。1978 年我国钢铁工业进入了稳定快速发展时期。近年通过大量引进国外先进的工业设备和技术创新，我国一些大中型钢铁企业的装备和生产工艺已进入世界钢铁生产企业的先进行列，大大促进了我国钢质量的提高和新钢种的开发。第 2 章介绍常用的铁基二元相图与钢的相组成，这是各类钢的成分设计基础。第 3 章介绍合金元素对钢中相变的影响，主要分析钢中加入合金元素后对各种热处理相变所产生的影响，以及各类组织的特征和性能，对各种相变的不同理论不作过多的分析，因为这方面已有许多专著。第 4 章介绍合金元素对钢的性能的影响，这些性能包括力学性能(强度、塑性、韧性、硬度、疲劳和磨损)、钢的淬透

性、热变形成形性(控制轧制和控制冷却、锻造性能)、冷变形成形性(拉伸、胀形、弯曲)、焊接性、切削加工性。对于钢的热处理性能及表面处理,除淬透性外,未专门作介绍,同样因为这方面已有许多专著和大型手册。第5~10章为各大类钢的介绍,在各章中又将各大类钢分为若干小类。钢的分类方法有多种:按化学成分、按质量等级、按组织、按用途等。本书的分类不拘一格,第5章大体上是按化学成分分类,后面各章是按用途分类,而且也不是很严格。例如,第5章中在论述 TRIP 钢时,既有低合金钢又有合金钢,这是为了论述的系统性。

本书第1~9章由崔崑撰写,并经华中科技大学谢长生教授和张同俊教授审阅,第10章由谢长生教授撰写,经崔崑审阅。全书最后由崔崑统一定稿。

本书对钢材领域的科学研究人员、材料科学专业的师生、广大的钢材应用部门和材料选用者均有参考价值。读者如果具有物理冶金(金属学)和金属热处理的基本知识,阅读本书不会有困难。

在撰写本书过程中,引用了大量的专著、论文,以及标准中的图、表和数据,作者均注明出处,并尽可能引用原始文献,在此谨向文献作者、标准制定者和刊物的出版者表示诚挚的感谢!

本书的撰写得到华中科技大学材料科学与工程学院和华中科技大学材料成形与模具技术国家重点实验室的支持和资助,作者表示衷心的感谢!

由于作者学识有限,书中必有不妥之处,恳请读者不吝指正。

崔 崑

# 目 录

第二版前言

第一版前言

第 5 章 非合金钢、低合金钢和微合金钢 .....	387
5.1 非合金钢 .....	387
5.1.1 普通质量非合金钢 .....	387
5.1.2 优质非合金钢 .....	392
5.2 低合金钢及微合金钢 .....	399
5.2.1 低合金钢的发展 .....	399
5.2.2 低合金高强度钢的性能要求和分类 .....	411
5.2.3 低合金高强度钢的合金化 .....	414
5.2.4 低合金高强度钢的组织与性能 .....	420
5.3 可焊接低合金高强度钢 .....	433
5.3.1 一般结构用钢 .....	433
5.3.2 桥梁用钢 .....	434
5.3.3 锅炉和压力容器用钢 .....	442
5.3.4 造船和海上采油平台用钢 .....	451
5.3.5 工程机械用钢 .....	461
5.3.6 钢结构建筑用钢 .....	466
5.3.7 油气输送管线用钢 .....	475
5.3.8 连续油管用钢 .....	498
5.4 低合金高强度冲压钢 .....	501
5.4.1 低合金高强度冲压钢板对性能的要求 .....	502
5.4.2 低合金高强度热轧冲压钢板 .....	506
5.4.3 双相钢 .....	516
5.4.4 相变诱导塑性钢(TRIP 钢)和孪生诱导塑性钢(TWIP 钢) .....	528
5.4.5 低合金高强度冷轧薄钢板 .....	540
5.5 耐候钢与耐海水腐蚀钢 .....	553
5.5.1 金属的电化学腐蚀 .....	554
5.5.2 大气腐蚀 .....	556
5.5.3 合金元素对耐候性的影响 .....	557

5.5.4	耐候钢的成分、性能与应用	559
5.5.5	耐海水腐蚀钢	566
5.6	低合金耐磨钢	571
5.6.1	矿山用低合金耐磨钢	571
5.6.2	工程机械用低合金耐磨钢板	575
5.6.3	系泊链钢	580
5.6.4	低合金钢轨钢	582
5.7	低合金钢筋	591
5.7.1	低合金钢筋概述	591
5.7.2	钢筋的基本性能要求	592
5.7.3	我国低合金钢筋的发展和钢种系列	594
5.7.4	低合金钢筋的合金化	602
5.8	碳素钢及低合金钢钢丝	603
5.8.1	钢丝的生产	604
5.8.2	钢丝的热处理	605
5.8.3	碳素钢丝	607
5.8.4	冷镦钢丝	613
	参考文献	628

## 第5章 非合金钢、低合金钢和微合金钢

### 5.1 非合金钢

非合金钢按主要质量等级分为普通质量非合金钢、优质非合金钢和特殊优质非合金钢。

#### 5.1.1 普通质量非合金钢

普通质量非合金钢是指不规定生产过程中需要特别控制质量要求的并应同时满足下列四种条件的所有钢种(GB/T 13304—2008《钢分类》):①钢为非合金化的(符合表 1.3 的规定);②除了退火、正火、消除应力及软化处理外,没有其他的热处理要求;③如对其化学成分和力学性能有规定,其值应符合下列条件:碳含量的最高值不小于 0.10%,硫和磷含量最高值不小于 0.045%,氮含量最高值不小于 0.007%,抗拉强度最低值不大于 690MPa,屈服强度最低值不大于 360MPa,伸长率  $\delta_5$  最低值不大于 33%,弯心直径最低值不小于  $0.5 \times$  试样厚度,冲击功最低值(20℃, V 型, 纵向)不大于 27J, 洛氏硬度最高值(HRB)不小于 60;④未规定的其他质量要求。

普通质量非合金钢主要包括:一般用途碳素结构钢、碳素钢钢筋、铁道用一般碳素钢、一般钢板桩型钢。普通质量非合金钢是以碳素结构钢为主的。

碳素结构钢(原称普通碳素钢)一般不经热处理即直接使用,多轧制成板材或型材,是工程结构用钢的主要钢材。我国首个此类钢的国家标准是 1965 年制定的 GB 700—65《普通碳素钢钢号和一般技术条件》。该标准按所保证的条件,将普通碳素钢分为三类:甲类钢是按机械性能供应的钢,乙类钢是按化学成分供应的钢,特类钢是按机械性能及化学成分供应的钢,之后该标准修改为 GB 700—79《普通碳素结构钢技术条件》。

1988 年经过修订并实施的 GB 700—88《碳素结构钢》中取消了此前规定的甲类钢、乙类钢、特类钢分类方法,改为按质量等级分为 A、B、C、D 等四个等级,与国际标准靠近,在保证力学性能的同时,放宽成分限制。根据 GB 700—88《碳素结构钢》,此类钢的化学成分应符合表 5.1 的规定,此类钢的力学性能应符合表 5.2 的规定。

表 5.1 碳素结构钢的化学成分(GB 700—88)

牌号	等级	化学成分/%					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
Q195	—	0.06~0.12	0.25~0.50	≤0.30	≤0.050	≤0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	≤0.30	≤0.050	≤0.045	F、b、Z
	B				≤0.045		
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	≤0.30	≤0.050	≤0.045	F、b、Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		≤0.045		
	C	≤0.18	0.35~0.80		≤0.040	≤0.040	Z
	D	≤0.17			≤0.035	≤0.035	TZ
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	≤0.30	≤0.050	≤0.045	Z
	B				≤0.045		
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	≤0.35	≤0.050	0.045	Z

注:钢中残余元素铬、镍、铜含量应各不大于 0.30%。Q235A、B 级沸腾钢锰含量的上限为 0.60%。

表 5.2 碳素结构钢的力学性能(GB 700—88)

牌号	等级	屈服点 $\sigma_s$ /MPa, 不小于						抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	伸长率 $\delta_5$ /%, 不小于						冲击试验 (V 型, 纵向)		
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm						温度 /°C	冲击功/J	
		≤16	>16~40	>40~60	>60~100	>100~150	>150		≤16	>16~40	>40~60	>60~100	>100~150	150>			
Q195	—	(195)	(185)	—	—	—	—	315~390	33	32	—	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~410	31	30	29	28	27	26	—	—	—
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	27	—
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375~460	26	25	24	23	22	21	—	—	—
	B														20	—	
	C														0	27	
	D														-20	—	
Q255	A	255	245	235	225	215	205	410~510	24	23	22	21	20	19	—	—	—
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	27	—
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490~610	20	19	18	17	16	15	—	—	—

2006 年发布了《碳素结构钢》新的标准 GB/T 700—2006, 与 GB 700—88 相比, 主要变化为: “脱氧方法” 取消了半镇静钢; 取消了 Q255 牌号; 新的 Q275 牌号分 A、B、C、D 四个质量等级; 取消了各牌号的碳、锰含量下限, 并提高了锰含量上限; 降低了 Q195 牌号的磷、硫含量; 厚度大于 100mm 的钢材, 抗拉强度  $R_m$  可降低 20MPa; 其他一些成分上的调整。表 5.3 为 GB/T 700—2006 中钢的牌号和化学成分的规定。

表 5.3 碳素结构钢的化学成分(GB/T 700—2006)

牌号	等级	厚度(或直径) /mm	脱氧方法	化学成分/%，不大于				
				C	Si	Mn	P	S
Q195	—	—	F、Z	0.12	0.30	0.50	0.035	0.040
Q215	A	—	F、Z	0.15	0.35	1.20	0.045	0.050
	B							0.045
Q235	A	—	F、Z	0.22	0.35	1.40	0.045	0.050
	B			0.20				0.045
	C		Z	0.17			0.040	0.040
	D		TZ				0.035	0.035
Q275	A	—	F、Z	0.24	0.35	1.50	0.045	0.050
	B	≤40	Z	0.21			0.045	0.045
		>40		0.22			0.040	0.040
	C	—	Z	0.20			0.035	0.035
D	—	TZ	0.035		0.035			

注：D级钢应有足够的细化晶粒的元素，当采用铝脱氧时，钢中酸溶铝含量应不小于0.015%，或总铝含量应不小于0.020%。钢中残余元素铬、镍、铜含量应各不大于0.30%，氮含量应不大于0.008%。

表 5.4 为这类钢的力学性能要求。

表 5.4 碳素结构钢的力学性能(GB/T 700—2006)

牌号	等级	屈服强度 $R_{eH}$ /MPa，不小于						抗拉强度 $R_m$ /MPa	断后伸长率 $A$ /%，不小于					冲击试验 (V型，纵向)	
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm					温度 /℃	冲击功 / J，不小于
		≤16	>16 ~40	>40 ~60	>60 ~100	>100 ~150	>150 ~200		≤40	>40 ~60	>60 ~100	100~ 150	>150 ~200		
Q195	—	195	185	—	—	—	315~ 430	33	—	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~ 450	31	30	29	27	26	—	—
	B													+20	27
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375~ 500	26	25	24	22	21	—	—
	B													+20	27
	C													0	
	D													-20	
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410~ 540	22	21	20	18	17	—	—
	B													+20	27
	C													0	
	D													-20	

一般用途碳素结构钢的品种多、用途广，是当前工程结构大量使用的原材料。在我国，一般用途碳素结构钢的产量占钢铁总产量的大部分，随着冶炼水平的提

高,生产工艺装备的改善,其技术标准也在不断变化,目前其化学成分与性能已与国际标准趋于一致。

随着冶炼技术的进步,铁水预处理和炉外精炼技术在钢厂普遍使用,一些大中型钢铁企业生产的普通碳素钢的杂质含量达到或接近优质钢的水平,规模化的生产使成本大幅度降低。同时由于用户需求水平的不断提高,原有的一些普通碳素钢的应用领域被优质钢代替。因此,普通碳素钢在钢铁总产量中的比重逐步降低<sup>[1]</sup>。

从 GB/T 700—2006《碳素结构钢》中规定的技术条件来看,一些钢号的成分范围和性能要求已不属于普通质量非合金钢的范围,如 Q215、Q235 和 Q275 的锰含量均超过 GB/T 13304—91《钢分类》中非合金钢的锰含量应小于 1.00% 的规定,而属于低合金钢,有些级别的钢属于普通碳素结构钢,有些则属于优质碳素结构钢。

碳素结构钢是亚共析钢,钢材一般以热轧、控轧或正火状态交货,其组织由先共析铁素体和珠光体组成。碳是钢中的重要元素,各牌号的性能基本上由碳含量决定,钢的强度随碳含量的增加而提高,其塑性和韧性则降低。图 5.1 为热轧后碳素钢的力学性能随碳含量的变化。

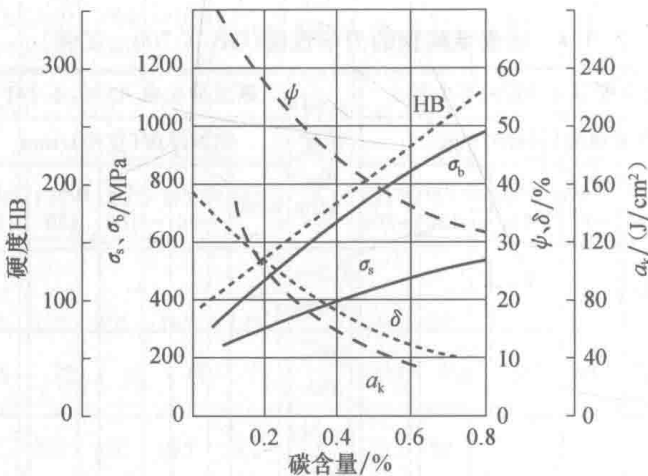


图 5.1 碳含量对钢的力学性能的影响(热轧后)<sup>[2]</sup>

炼钢过程中,硅铁是常用的脱氧剂,其脱氧能力强于锰。碳素钢中硅含量通常小于 0.35%。硅几乎全部溶于铁素体中,仅有少部分存在于硅酸盐夹杂中。少量的硅仅作为杂质存在时对碳钢的性能没有多大的影响。

锰是在炼钢时用于脱氧和脱硫而残存于钢的元素,是有益元素。锰大部分溶于铁素体,形成置换固溶体使铁素体强化,一部分溶于  $Fe_3C$  中,形成合金渗碳体。当锰含量较低,只作为杂质元素时,对钢的强度影响不显著。在这类钢中一般都适

当增加锰的含量,锰能增加珠光体的相对量,使珠光体变细和增加淬透性。这都会使钢的强度增加,而对塑性和韧性没有不良影响。

硫、磷、氮、氧都是炼钢过程残存的有害杂质,均需严格加以限制。

碳素结构钢的绝大部分均经过热加工制成型材、板材、管材等。这类钢的热加工性能良好,其热加工的温度范围见图 1.23,终轧温度无须控制,轧后一般空冷。部分经过热加工的钢材还要进行冷加工。

冷加工的主要方式是冷轧、拉拔和挤压。冷轧可以大幅度提高强度,但其塑性也相应地大幅度降低。拉拔是将已轧制的坯料(型材、管材等)通过模孔拉拔使截面减小、长度增加的加工方法。挤压是将坯料置于密闭的挤压筒内,一端施加压力,使坯料从规定的模孔中挤出而得到相同形状和尺寸的成品,多用于生产高精度钢管、钢棒等产品。

这类钢的主要用途如下<sup>[1]</sup>:

(1) Q195 钢的碳、锰含量低,强度不高,但塑性和韧性好,具有良好的工艺性能。生产品种为薄板、线材、钢丝等,广泛用于轻工机械、运输车辆、建筑等一般结构件,以及农机配件、五金制品、机械用一般结构件。

(2) Q215 钢的碳含量较低,有比较好的塑性、韧性和工艺性能,用于厂房、桥梁等大型结构构件,以及轻工、农业、五金工具、金属制品等。

(3) Q235 钢的碳含量适中,具有良好的综合力学性能和工艺性能,是最通用工程结构钢之一,适用于受力不大,而韧性要求高的工程结构,用于建造厂房、桥梁、车辆等。生产品种为型钢、钢板、钢带、线材、钢管、钢丝等。

上述牌号均可用于受力不大,不需热处理的一般机械结构和零件。

Q275 钢的碳、锰含量稍高,具有较高的强度、硬度和耐磨性,以及一定的焊接性能和较好的切削加工性能,塑性、韧性较低,可制作承受中等应力的构件和部件,代替 30、35 优质碳素结构钢,以降低成本,用于制造齿轮、心轴、销轴、链轮、螺栓、垫圈、鱼尾板,以及农业机械用型材、机架、耙齿等。主要产品为型材、棒材、钢板、钢带。

碳素钢钢筋是指钢筋混凝土用热轧光圆钢筋(GB 13013—91《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》)。其直径范围为 8~20mm,使用的牌号为 Q235。规定的化学成分范围为:0.14%~0.22% C, 0.12%~0.30% Si, 0.30%~0.45% Mn,  $\leq 0.045\%$  P,  $\leq 0.050\%$  S。其力学性能要求: $\sigma_s \geq 235\text{MPa}$ ,  $\sigma_b \geq 370\text{MPa}$ , 伸长率  $\delta_5 \geq 25\%$ ;冷弯 180°时,弯芯直径等于钢筋直径,试样弯曲外表面无肉眼可见的裂纹。

铁道用一般碳素钢主要有:用于轻轨的碳素钢 50Q 和 55Q(GB 11264—89《轻轨》);轻轨接头夹板用钢 Q235A 和 Q255A(GB 11265—89《轻轨用接头夹板》);轻轨垫板用的垫板钢,其成分为 0.14%~0.285% C,  $\leq 0.045\%$  P,  $\leq 0.050\%$  S(GB 11266—89《轻轨用垫板》);钢轨垫板用碳素钢,规定的化学成分为  $\geq 0.10\%$  C,

≤0.08%P(转炉)(GB 2826—81《每米 38~50 公斤钢轨用垫板 技术条件》)。

一般钢板桩型钢尚无标准。

### 5.1.2 优质非合金钢

在各类优质非合金钢中,最重要的是优质碳素结构钢。优质碳素结构钢是碳素钢中的磷、硫含量较低,钢质洁净度比较高的钢类。这类钢除要求保证化学成分和力学性能外,还对酸浸低倍组织的合格级别作出了规定。

优质碳素结构钢标准首次发布于 1952 年,标准号为重 5—52,曾于 1955 年、1959 年修改过 2 次;1963 年原冶金工业部发布了 YB 4—63,该标准参照苏联标准体系;1965 年此类标准升级为国家标准 GB 699—65《优质碳素结构钢钢号和一般技术条件》,1988 年对该标准进行了修订,1999 年进行了第 2 次修订,修订后该标准已逐步与国际接轨;2015 年又进行了修订,制定为 GB/T 699—2015《优质碳素结构钢》。

GB/T 699—2015 取消了沸腾钢和半镇静钢,所列钢号均为镇静钢,取消了钢棒按冶金质量分类,修改了 08Al 钢的化学成分,将屈服点明确为下屈服强度  $R_{eL}$  或规定塑性延伸强度  $R_{p0.2}$ ,增加了热处理温度允许调整范围等。

这类钢的钢号系列为 08~85,包括碳含量为 0.05%~0.90%的低碳钢、中碳钢和高碳钢。表 5.5 为优质碳素结构钢的化学成分和力学性能(GB/T 699—2015)。优质碳素结构钢中只含有铁、碳、硅、锰、硫、磷,不含其他元素,其性能主要取决于钢中的碳含量和钢的组织结构。按锰含量的不同,这类钢可以分为两组:普通锰含量钢和较高锰含量钢。前者不含有特意加入的元素,其性能基本上取决于钢中的碳含量。后者由于提高了锰含量,具有较高的淬透性,以及较高的强度、硬度,但塑性略低。

表 5.5 优质碳素结构钢的化学成分和力学性能(GB/T 699—2015)

钢号	化学成分/%		推荐热处理/°C			力学性能					交货硬度 HBW, 不大于	
	C	Mn	正火	淬火	回火	$R_m$ /	$R_{eL}$ /	A/	Z/	$KU_2$ /	未热处理钢	退火钢
						MPa	MPa	%	%	J		
08	0.05~0.11	0.35~0.65	930	—	—	325	195	33	60	—	131	—
10	0.07~0.13	0.35~0.65	930	—	—	335	205	31	55	—	137	—
15	0.12~0.18	0.35~0.65	920	—	—	375	225	27	55	—	143	—
20	0.17~0.23	0.35~0.65	910	—	—	410	245	25	55	—	156	—
25	0.22~0.29	0.50~0.80	900	870	600	450	275	23	50	71	170	—
30	0.27~0.34	0.50~0.80	880	860	600	490	295	21	50	63	179	—

续表

钢号	化学成分/%		推荐热处理/°C			力学性能					交货硬度 HBW, 不大于	
	C	Mn	正火	淬火	回火	R <sub>m</sub> /	R <sub>eL</sub> /	A/	Z/	KU <sub>2</sub> /	未热处理钢	退火钢
						MPa	MPa	%	%	J		
35	0.32~0.39	0.50~0.80	870	850	600	530	315	20	45	55	197	—
40	0.37~0.44	0.50~0.80	860	840	600	570	335	19	45	47	217	187
45	0.42~0.50	0.50~0.80	850	840	600	600	355	16	40	39	229	197
50	0.47~0.55	0.50~0.80	830	830	600	630	375	14	40	31	241	207
55	0.52~0.60	0.50~0.80	820	820	600	645	380	13	35	—	255	217
60	0.57~0.65	0.50~0.80	810	—	—	675	400	12	35	—	255	229
65	0.62~0.70	0.50~0.80	810	—	—	695	410	10	30	—	255	229
70	0.67~0.75	0.50~0.80	790	—	—	715	420	9	30	—	269	229
75	0.72~0.80	0.50~0.80	—	820	480	1080	880	7	30	—	285	241
80	0.77~0.85	0.50~0.80	—	820	480	1080	930	6	30	—	285	241
85	0.82~0.90	0.50~0.80	—	820	480	1130	980	6	30	—	302	255
15Mn	0.12~0.18	0.70~1.00	920	—	—	410	245	26	55	—	163	—
20Mn	0.17~0.23	0.70~1.00	910	—	—	450	275	24	50	—	197	—
25Mn	0.22~0.29	0.70~1.00	900	870	600	490	295	22	50	71	207	—
30Mn	0.27~0.34	0.70~1.00	880	860	600	540	315	20	45	63	217	187
35Mn	0.32~0.39	0.70~1.00	870	850	600	560	335	18	45	55	229	197
40Mn	0.37~0.44	0.70~1.00	860	840	600	590	355	17	45	47	229	207
45Mn	0.42~0.50	0.70~1.00	850	840	600	620	375	15	40	39	241	217
50Mn	0.48~0.56	0.70~1.00	830	830	600	645	390	13	40	31	255	217
60Mn	0.57~0.65	0.70~1.00	810	—	—	695	410	11	35	—	269	229
65Mn	0.62~0.70	0.90~1.20	830	—	—	735	430	9	30	—	285	229
70Mn	0.67~0.75	0.90~1.20	790	—	—	785	450	8	30	—	285	229

注:1) 钢中其他元素的含量规定为 0.17%~0.37%Si, ≤0.30%Ni, ≤0.25%Cr, ≤0.25%Cu。08 钢中含 ≤0.10%Cr; 10 钢中含 ≤0.15%Cr。氧气转炉钢的氮含量应不大于 0.008%。

2) 08 钢用铝脱氧的镇静钢, 碳、锰含量下限不限, 上限为 0.45%, 硅含量不大于 0.03%, 全铝含量为 0.02%~0.07%。此时钢的牌号为 08Al。

3) 表中所列牌号中的 P、S 含量不大于 0.035%。

4) 试样毛坯尺寸为 25mm, 测定纵向拉伸性能。表中的力学性能指标适用于直径或厚度不大于 80mm 的钢棒。对直径或厚度大于 80mm 的钢棒, 允许其断后伸长率、断面收缩率比表中规定值分别降低 2% 和 5% (均指绝对值)。热处理温度允许调整范围: 正火 ±30°C, 淬火 ±20°C, 回火 ±50°C。推荐保温时间, 正火不小于 30min, 空冷, 淬火时间不小于 30min, 70、80、85 钢油冷, 其余钢棒水冷, 600°C 回火时间不小于 1h。

优质碳素结构钢钢号系列齐全,钢材品种、规格多,加工性能好,应用广泛,是国民经济各部门的重要基础材料。这类钢按其碳含量高低,适于不同用途。

1) 低碳钢

这类钢碳含量在 0.25% 以下,多不经热处理直接使用,或经渗碳、碳氮共渗等处理。

08 钢的强度和硬度都很低,冷变形塑性好,深冲性能高,焊接性能好,用于生产薄钢板和冷轧钢带,广泛用于制造深冲压、拉深的覆盖件及焊接件。

10 钢的塑性和韧性高,焊接性能好,在冷作状态下易于挤压成形,切削性差,经热处理或冷拉处理后,可提高切削性能,可用于制作各种负荷小、要求高韧性的零件,较小负荷的焊接件、渗碳件及焊条等。

15 钢的塑性、韧性、焊接及冷冲压性能都很好,但强度较低。该钢的切削加工性能较差,为改善其切削加工性,可在 880~900℃ 加热后水中淬火。20 钢的强度比 15 钢稍高。这两种钢均可用于不经受很大应力而要求高的塑性和韧性的各种机械加工件。

15、20、15Mn、20Mn 等钢常进行渗碳或碳氮共渗,用于制造摩擦片、活塞销、板簧销、不重要的齿轮和蜗杆等。这类钢渗碳(900~930℃)时,晶粒容易长大,一般不直接淬火,因淬透性低,需用水或盐水做冷却介质(15Mn、20Mn 可以在油中淬火),变形较大,故用于形状较简单而受力不大的零件。

表 5.6 为低碳钢的典型热处理工艺。

表 5.6 低碳钢的典型热处理工艺

工艺		08,10	15	20	15Mn,20Mn	冷却介质
1	正火	900~920	890~920	890~920	900~950	空气
2	渗碳	900~920	900~920	900~920	900~920	空气
	淬火	780~800	780~800	780~800	810~830	水
	回火	150~180	150~180	150~180	180~200	空气
3	碳氮共渗	820~860	820~860	820~860	—	—
	淬火	820~860	820~860	820~860	—	水
	回火	150~180	150~180	150~180	—	空气
4	淬火	900~920	890~920	860~900	860~900	水
	回火	—	—	按硬度要求	450~650	空气

注:15Mn、20Mn 可以在油中淬火。

15 钢和 20 钢水淬时淬透的直径不超过 10mm,所以一般都不经热处理;但一些学者的研究指出,低碳钢(<0.20%C)经过淬火可以大大改善其力学性能,因此低碳钢的淬火逐渐得到应用,甚至像 05 和 08 这样含碳低的钢也可以进行淬火。表 5.7 比较了经过热处理和未经热处理的不同尺寸的 15 钢的力学性能<sup>[3]</sup>。经过淬火还可以改善这些钢的切削加工性。