

工业锅炉丛书

锅炉制造工艺与检验

高广安 刘曼青 朱群益 赵广播 编

哈尔滨工业大学出版社

TK226

G17-2

(2)

434576

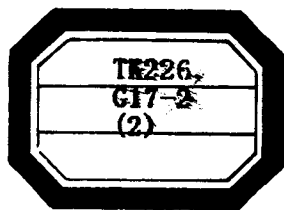
工业锅炉丛书

锅炉制造工艺与检验

高广安 刘曼青 朱群益 赵广播 编



00434576



哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书是工业锅炉丛书之一。书中系统地讲述了现代蒸汽锅炉的主要零部件、特别是各主要受压零部件的制造工艺、生产技术与检验技术。全书共分三部分：第一部分是锅炉钢材和锅炉制造过程的主要加工方法，如金属材料切割、焊接及胀接等；第二部分是锅炉主要零部件的制造工艺，如锅筒、封头、锅炉管件和集箱的制造工艺等；第三部分是锅炉制造中的检验工作，如常用检验方法、检验标准等。

本书可作为大专院校(包括电大、夜大)热能工程专业教材，还可供锅炉制造厂和化工机械厂技术人员自学参考之用。

D219/26

工业锅炉丛书

锅炉制造工艺与检验

Guolu Zhizao Gongyi yu Jianyan

高广安 刘曼青 朱群益 赵广播 编

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨市新宇打字社排版

黑龙江新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.625 字数 358 千字

1990年4月第2版 1996年3月第3次印刷

印数 10001—15000

ISBN 7-5603-0026-X/TK·4 定价:15.50元

前 言

锅炉是重要的能源转换设备。据不完全统计,我国现有工业锅炉三十万台左右,经两部定点生产工业蒸汽锅炉的厂家共 202 家,经各省定点生产热水锅炉的厂家约 500 家。这些厂家急需补充锅炉专业毕业的大专、中专毕业生。与此相应,一些院校和省市教委相继开办了工业锅炉(或热能工程)大专班、业余大学和电视大学锅炉班。因此,编写一套适用于工业锅炉专业的大专教材,已成为当务之急。另外,在编写时也考虑了提高现有工业锅炉技术和管理干部专业知识水平的需要。

这套丛书的内容以锅炉基本理论和实用技术为主,同时介绍了国内外工业锅炉的发展远景,并提供工业锅炉设计和运行所需要的数据。

全部丛书分以下诸册陆续出版:

锅炉燃烧技术及设备;

锅炉结构与设计;

锅炉制造工艺与检验;

锅炉水动力学及锅内设备;

锅炉辅助设备;

锅炉热工测试技术;

锅炉自动调节;

流体传输设备及运行。

本丛书可作为工业锅炉(或热能工程)大专、中专、业余大学和电视大学锅炉班的教材,也可供工业企业从事热工、锅炉和热能工程专业的工程技术人员参考。

本丛书由哈尔滨工业大学热能工程(原锅炉)教研室编写。由陈崇枢、秦裕琨、杨励丹、范柏樟和李之光同志组成编委会,负责丛书的审校工作。

《锅炉制造工艺与检验》是这套丛书的一册,内容是现代蒸汽锅炉的主要零部件,特别是各主要受压零部件的制造工艺、生产技术与检验技术。共分三个部分:第一部分是锅炉钢材和锅炉制造过程的主要加工方法,如金属材料切割、焊接及胀接等;第二部分是锅炉主要零部件的制造工艺,如锅筒、封头、锅炉管件和集箱的制造工艺等;第三部分是锅炉制造中的检验工作,如常用检验方法、检验标准等。

本书的绪言和第一、三、五、八、九、十一章由高广安和朱群益编写,第二、四、六、七、十、十二章由刘曼青和赵广播编写。全书由高广安编辑整理,最后由李之光审阅定稿。

本书涉及到的现行规程、标准,以后如有修改,应以新的规程与标准为准。

工业锅炉丛书编委会

目 录

绪 言	(1)
第一章 锅炉用金属材料	
§ 1-1 化学元素对钢材性能的影响	(3)
§ 1-2 锅炉钢材的分类与牌号	(5)
§ 1-3 锅炉用钢与铸铁	(10)
第二章 金属材料的下料切割	
§ 2-1 矫正和划线	(21)
§ 2-2 机械切割	(24)
§ 2-3 火焰切割	(27)
§ 2-4 等离子弧切割	(40)
§ 2-5 碳弧气刨	(45)
第三章 锅炉制造业应用的焊接方法	
§ 3-1 手工电弧焊	(49)
§ 3-2 埋弧自动焊	(63)
§ 3-3 氩弧焊	(74)
§ 3-4 电渣焊	(79)
§ 3-5 气焊	(83)
§ 3-6 等离子弧焊接	(87)
§ 3-7 接触焊对焊	(89)
§ 3-8 摩擦焊	(92)
第四章 焊接接头	
§ 4-1 焊接接头特点	(95)
§ 4-2 焊接接头的基本型式	(96)
§ 4-3 焊接接头强度计算	(99)
§ 4-4 焊缝强度分析	(101)
§ 4-5 焊缝符号及标注方法	(105)
第五章 焊接应力与变形	
§ 5-1 焊接应力与变形产生的原因	(107)
§ 5-2 焊接残余应力的分布情况及其影响	(108)
§ 5-3 减少和消除焊接应力的措施与方法	(115)
§ 5-4 焊接变形的影响因素与计算	(119)
§ 5-5 减少和矫正焊接变形的措施与方法	(123)
第六章 锅炉钢材的焊接	
§ 6-1 焊接热影响区及其对接头性能的影响	(128)

§ 6-2	金属材料的可焊性	(134)
§ 6-3	锅炉钢材焊接过程中的热处理	(136)
§ 6-4	常用锅炉钢材的焊接	(139)
第七章 胀接		
§ 7-1	胀接过程实质	(151)
§ 7-2	胀接方法	(153)
§ 7-3	影响胀接质量的因素	(154)
§ 7-4	胀管缺陷	(159)
第八章 锅筒制造工艺		
§ 8-1	锅炉封头制造工艺	(161)
§ 8-2	成型封头的端面加工与质量检验	(170)
§ 8-3	锅筒筒节的下料与卷制	(172)
§ 8-4	锅筒的装配与焊接	(177)
§ 8-5	锅筒制造中的热处理工作	(179)
§ 8-6	锅筒与管件的连接	(180)
§ 8-7	锅筒制造中的质量检验	(182)
第九章 锅炉管件制造工艺		
§ 9-1	管件的划线与下料	(184)
§ 9-2	管件的弯曲与焊接	(184)
§ 9-3	蛇形管制造工艺特点	(193)
§ 9-4	膜式水冷壁制造工艺特点	(194)
§ 9-5	管件制造中的质量检验	(196)
第十章 锅炉其他部件制造工艺特点		
§ 10-1	集箱的制造工艺特点	(198)
§ 10-2	炉胆的制造工艺特点	(200)
§ 10-3	管式空气预热器制造工艺特点	(201)
§ 10-4	回转式空气预热器制造工艺特点	(204)
§ 10-5	铸铁省煤器制造工艺特点	(206)
第十一章 锅炉制造的检验工作		
§ 11-1	锅炉原材料检验	(210)
§ 11-2	锅炉构件的检验	(212)
§ 11-3	锅炉焊接缺陷检验	(212)
§ 11-4	锅炉的水压试验	(230)
第十二章 运行锅炉的检验工作		
§ 12-1	运行锅炉的外部检验	(232)
§ 12-2	运行锅炉的定期停炉检验	(235)
主要参考文献		(243)

绪 言

锅炉是利用燃料或其他能源的热能把工质(一般为净化的水)加热到一定参数(温度、压力)的热能转换装置。锅炉在一定的温度和压力下工作,因而是一种可能发生爆炸的受压容器。

现代锅炉是一个体积庞大而构造复杂的设备,它由许多零部件组成。仅本体部分就包括锅筒、水冷壁、对流受热面(包括过热器、再热器和省煤器)、各种集箱、各种汽水管、空气预热器、燃烧设备和锅炉构架等。上述各种零部件由于其工作过程和条件的不同,对所用材料及制造方法有不同的要求。特别是各承压部件所用的材料及其制造质量对锅炉性能与安全运行有着十分重要的影响。

锅炉的零部件十分复杂,故整个锅炉的制造过程涉及到许多加工工艺方法。如冷作工艺(包括矫形、剪切、冷卷、管件弯制以及型材弯曲)、锻压加工(包括封头冲压、锅筒热卷以及各种零部件的锻造)、金属材料的切割与装配、金属材料的焊接、热处理以及金属切削加工等等。锅炉制造工艺是由多种加工工艺综合而成的。

锅炉制造工艺水平的不断提高对锅炉技术发展、保证安全运行、防止意外事故起着重要的作用。初期,锅炉工作压力很低,一般都在 $0.8\sim 1\text{MPa}$ (表压)以下,当时的锅炉制造工艺主要靠手工劳动,钢材的连接主要靠铆接,管子的连接靠胀接。因为压力较低,锅炉材料都用塑性好的低碳钢,因而采用铆接、胀接尚能满足安全使用的要求。以后锅炉的压力逐渐提高到 $2\sim 3\text{MPa}$ (表压),采用铆接与胀接的结构常常在运行中出现问题,主要是在铆接或胀接处泄漏、产生裂纹,甚至发生爆炸事故。

在1920年前后,英、德等欧美国家普采用过锻制式锅筒,以满足锅炉技术发展与安全运行的要求。但锻造锅筒金属耗量大、锻制工时多,又要求有大型锻造设备,因而其发展受到很大限制。

直到1930年前后,随着焊接技术的发展,主要是研制出了优质焊条,改进了焊接设备,研究了焊接过程的一些理论问题与焊接质量检验方法,使得焊接技术在锅炉制造业中得到了广泛应用,并为锅炉制造业的发展开辟了广阔的前景。

从60年代开始,锅炉机组不断向高参数、大容量方向发展。到70年代,单机容量已达到100万千瓦或者更大。随着锅炉机组容量的增长,锅炉事故也急剧增加。例如美国对1960~1968年间火电机组运行情况的统计表明,随着单机容量的提高,锅炉与汽轮机相比事故大为增多。在 $9\sim 12.5$ 万千瓦范围内,锅炉事故为汽轮机的2.5倍; $20\sim 38.9$ 万千瓦范围内为3.1倍;大于60万千瓦的为7.1倍。前苏联的研究也认为,在蒸汽参数不变时,锅炉管子、集箱数量及集箱上开孔数量、管接头焊接量等是和机组容量大致成正比增加的。在保持原来的制造工艺水平和质量检验水平的情况下,由各种缺陷造成的损失是与锅炉机组功率的平方成比例的。此外,根据国外资料分析,造成锅炉停炉的原因,除锅炉设

计不良、安装质量不好和运行不当之外,最主要的是锅炉管子材质不好和管件的制造质量(包括安装中的焊接质量)不佳。

工厂的制造质量问题,主要是焊接质量不好,使受压部件焊接接头的运行可靠性大为降低。在锅炉运行过程中,焊接接头的破坏型式有塑性破坏、脆性破坏、疲劳破坏和应力腐蚀破坏等,但不论何种形式的破坏,大都是由制造时的焊接缺陷造成的。

为了适应锅炉发展的需要,很多国家的锅炉制造业都进行了大规模的技术改造和工艺装备更新。例如日本三菱公司在长崎造船所内建造了面积为十一万平方米的高度机械化、自动化的直流锅炉制造厂,年生产相当于发电量为 400 万千瓦的电站锅炉。美国拔伯葛公司建造的维尔农分厂装备了大型加工设备和起重运输设备,用以生产化工和原子能发电设备的大型受压容器。在新建、扩建和调整原有生产线中,各国都比较重视设备的更新和各种新技术、新工艺的应用,如各种新型焊接技术、数控下料、弯管、钻孔和气割等。同时,为提高制造质量和保证锅炉安全运行,加强了从原材料入厂直到成品出厂的一系列工艺过程的质量管理工作,采用了许多新型的检验方法和检验设备,有的已实现了焊缝质量的自动监控和焊接接头的 X 光自动检验。近年来,微电子技术在锅炉制造业已得到广泛应用,特别是焊接过程和热加工的自动控制和自动检验记录。此外,在产品系列化、通用化、标准化基础上,已设计使用了大型电子计算机控制的专用设备,组织起了自动流水生产线。

我国解放前没有自己的锅炉制造工业,只有个别工厂可以修理锅炉和制造少量老式小型锅炉。工业上使用的蒸汽锅炉和电站锅炉都靠从国外进口。1953 年,我国建成了第一个锅炉制造厂——上海锅炉厂,1955 年生产出了我国自行制造的第一台蒸发量为 40t/h 的中压电站锅炉,从而开始了我国独立建造电站锅炉的历史。1957 年,我国又一大型锅炉制造厂——哈尔滨锅炉厂建成投产,先后试制成功 35、75 和 130t/h 煤粉炉,并在 1958 年制造出蒸发量为 230t/h 的高压电站锅炉,这标志着我国锅炉制造工业进入了一个新的发展阶段。

现在,我国已建立了一批成套发电设备制造企业。同时,全国多数省市都建立了制造工业锅炉的中小型锅炉制造厂,向社会提供工业动力锅炉与采暖锅炉。但是,我国的锅炉制造技术水平还是比较低的,尤其是中小型锅炉厂与国外先进水平相比还存在着很大差距。主要是工艺落后、检测手段差、自控水平低与辅机配套差等。所生产的产品还经常出现各种大大小小的事故,造成生命、财产的损失。因此急需对锅炉制造业进行整顿、改革,提高企业素质,提高锅炉制造工艺的技术水平,以满足四个现代化建设对锅炉制造业的要求。

第一章 锅炉用金属材料

锅炉制造行业每年需要大量的钢材,锅炉容量越大,耗钢越多。例如配一台20万千瓦机组的锅炉本体耗钢约三千到三千五百吨,若加上附属设备(磨煤机、给煤机、给粉设备、风机、除尘及除灰设备等),耗钢可达五千吨以上。随着锅炉设计、制造、运行技术的提高,锅炉工作压力、工作温度不断提高,对钢材的强度、塑性、韧性、耐磨性、耐蚀性以及其它各种物理化学性能的要求也愈来愈高,碳钢已不能完全满足这些要求,因此,出现了满足各种特殊性能要求的合金钢。锅炉内贮存的是具有一定压力的介质,一旦发生破坏,就会造成严重的后果,因此,选择合适的原材料及加强原材料的检验是保证锅炉安全运行的一个重要因素。

§ 1-1 化学元素对钢材性能的影响

一、碳钢中的元素及对性能的影响

碳钢为含碳量小于2%的铁碳合金,除碳以外,还含有少量的锰、硅、硫、磷以及氧、氮、氢等元素。碳钢价格便宜,来源方便并具有一定的机械性能及良好的工艺性能,因而在锅炉制造中被广泛采用。

1. 碳的影响 碳是碳钢中的主要合金元素,对碳钢的性能起着决定性的作用。含碳量增加,会使强度及硬度明显提高,含碳量增加0.1%,抗拉强度约提高60N/mm²,屈服限约提高20N/mm²。但含碳量增加,会使塑性及韧性明显下降,韧性下降得尤甚;可焊性随着含碳量的增加而明显恶化,因此,锅炉钢材对含碳量有一定的限制,碳钢应限制在0.3%以下,合金钢应更少。另一方面,含碳量下降,除强度降低外,还会使时效敏感性增加。因而,在锅炉制造业中一般也不采用含碳量小于0.1%的碳钢。

2. 锰和硅的影响 锰和硅是炼钢时为了脱氧而加入并部分残留在钢中的,在一定范围内,随锰含量的增加,钢材强度提高,另外锰能与硫形成硫化锰(MnS)清除有害的硫,改善钢的热加工性能;因此,要求钢中必须保证一定的含锰量。一般我国锅炉用碳钢中含锰是在0.35%~0.65%范围内,含硅量在0.15%~0.37%范围内。

3. 硫和磷的影响 硫、磷是在冶炼时由铁矿石和燃料带入,而后又不能完全去除残留在钢中的。硫在钢中以硫化铁(FeS)形态存在于晶粒之间,熔点较低,加热到800℃以上锻造、轧制时,可能导致晶间裂开(红脆性),硫使冲击韧性降低,故对硫的含量有严格要求,应控制在0.04%~0.045%以下。

磷在钢中具有严重的偏析倾向,磷多的地方成为脆裂的起点,使钢在室温或更低的温度下冲击值明显下降(冷脆性),因此,磷的含量也是越低越好,一般规定其含量要低于

0.04%。

4. 氧的影响 炼钢是一种氧化过程,在钢水中含有相当数量 FeO,注锭前用锰铁、硅铁、铝等除氧,其产物 MnO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 或 FeO 、 MnO 、 $2FeO$ 、 SiO_2 等大部分浮入渣中加以去除。

若钢水中含氧太多或冶炼及脱氧操作不良,可能遗留下部分氧化物,夹杂于钢中,能剧烈降低强度、韧性和疲劳强度。

5. 氮的影响 碳钢溶氮能力随温度的降低而下降,因此,当发钢件快速冷却时,一部分氮就会过饱和地溶解在钢中。当钢被加热到 $200\sim 250^\circ\text{C}$ 时就会发生氮化物的析出,使钢的时效敏感性提高,硬度、强度提高,塑性下降。

6. 氢的影响 氢在钢的液体状态和固体状态下,溶解度相差很大;在固体状态下,温度不同其溶解度也不一样。冷却较快时,氢原子来不及向金属外部扩散,将聚集于晶粒缺陷、滑移线及晶界处并形成分子状态的氢,产生很大张力,使钢材内部出现裂纹(白点)。

这些有害气体的允许含量,在锅炉钢材标准中,一般不明确给出来,但对它们所影响的性能及所造成的缺陷有明确要求。

在钢材中有时还可能偶然存在铬、镍、铜等元素,它们会影响钢材的可焊性及其它性能。我国锅炉钢材标准中对这些元素的残余含量有一定的规定。

二、合金元素对锅炉钢材性能的影响

“合金元素”是指为获得一定性能而特殊加入的化学元素。加入合金元素的钢材称为“合金钢”。各合金元素对锅炉钢材性能的影响及使用情况分述于后。

1. 锰 锰的含量在 0.65% 以下不属于合金元素,当含量达 1% 以上时才视为合金元素,并称为“锰钢”。

锰能有效地提高强度且并不稀有,故我国生产的合金钢钢板及部分合金钢钢管都含有一定数量的锰。锰含量增加,会明显降低可焊性,因此,锰的含量一般在 $1.10\%\sim 1.65\%$ 范围内。为保证良好的可焊性,锰含量大时,应适当降低含碳量。

锰含量不大时,对热强性(抗蠕变能力)影响不大,但含有较多量锰的钢,属于奥氏体组织钢,其热强性大增。我国生产的过热器固定件用钢,如 $Cr18Mn11Si2N(D1)$ 、 $Cr20Mn9Ni2Si2N$ (钢 101)等,即为含锰约为 10% 的耐热奥氏体钢。

2. 硅 硅的含量在 0.37% 以下时不属于合金元素。

锅炉钢材中硅主要是用来提高热稳性(抗氧化能力)。在我国新研制出的用于过热器管的无铬 8 号($12MoVWBSiRe$)、钢 102($12Cr2NoWVB$)等牌号低合金耐热钢中,硅的含量提高到 $0.45\%\sim 0.90\%$;而在用于过热固定件的高合金奥氏体耐热钢中,硅的含量达 2% 左右。

3. 铬 铬是锅炉钢材中常用的合金元素。目前,我国铬的产量较少,新研制出的锅炉合金钢应尽量少用或不用铬,无铬 8 号、 $15MnV$ 、 $12MnMoV$ 等新牌号国产锅炉钢就是从这点出发研制的。

铬在锅炉钢材中主要是用来提高热稳性,同时也提高了高温与常温强度及抗腐蚀能力。在锅炉用钼钢中加和一定量的铬,可减弱珠光体球化倾向及防止石墨化现象。铬的主

要缺点是降低了钢材的可焊性,因此,含铬钢的含碳量应适当降低。

4. 钼 钼是锅炉低合金钢中一个最基本的元素。我国生产的低合金锅炉钢材中除个别牌号外,几乎都含有一定量的钼。

钼在锅炉钢材中主要是提高热强性,钼在提高低合金钢热强性上,比任何其它元素都有效。加入0.5%钼约可提高抗蠕变能力75%,加入1%约可提高125%,加入1.5%,提高150%。钼是一种较贵重元素,我国锅炉低合金钢中,除个别牌号,如 $\pi 11$ (12Cr3MoVSiTb)的含钼量略高于1%外,其它都在0.5%以下。

5. 镍 镍也是一种贵重元素,我国产量较少,因此,在我国生产的锅炉钢材中,除个别牌号外,都不含镍。国外生产的锅炉钢材中,含镍在10%以上的高合金铬镍钢等是为获得奥氏体组织从而显著提高热强性;含镍约为1%的低合金锰镍钼钢等,是为了提高常温及中温强度,同时也改善了时效敏感性。

6. 钒 钒也是锅炉钢材中常用的合金元素,我国生产的低合金锅炉钢材中,大多数牌号含有钒。

钒的主要作用是提高热强性,其效果与钼相近。钒是较贵重元素,另外,加入量较多会降低热稳性,我国生产的锅炉钢材中,其含量多在0.2%~0.4%上下。钒也具有提高常温及中温强度的能力。

7. 钛和铌 钛和铌可进一步提高奥氏体钢的热强性,我国产量较高,在锅炉钢材中可以适量应用,新研制出的无铬8号,钢102等低合金锅炉钢材中,均含有一定量(0.5%以下)的钨。

8. 硼 锅炉钢材中加入少量的硼(万分之几)能收到显著提高热强性的效果,也能改善持久塑性。因此,近十年来,国外已广为应用。我国生产的无铬8号、钢102、 $\pi 11$ 等低合金锅炉钢材都含有少量的硼。硼量加得多时,使锻造明显恶化,因此,其含量控制在0.01%以下。

9. 稀土元素 钢中加入少量稀土元素,对热强性、持久塑性均起有利作用,国外对此早有注意。新研制的无铬8号中也利用了稀土元素。

10. 铜 利用含铜铁矿炼铁、炼钢,在钢中必残留有铜。我国有的铁矿所产铁矿石含铜较多,使炼出的钢中含铜量超过标准允许值(约0.3%)。试验表明,对于低碳钢、低碳低锰钢(如16Mn),如含铜量小于0.5%,非但对可焊性、塑性无明显影响,而且可提高强度性能、抗腐蚀性能并可防止迭轧粘结缺点。16MnCu钢用于锅炉构架。

§ 1-2 锅炉钢材的分类与牌号

一、锅炉钢材的分类

锅炉钢材可以按冶炼方法、化学成份、金相组织等进行分类,以利于识别及使用。

(一)按冶炼方法

1. 按冶炼设备的不同,分为:

(1) 平炉钢 平炉钢是在有拱形炉顶的平炉里靠外来火焰加热熔化铸铁和废钢所冶

炼出的钢。此种冶炼方法需时较长,约为4~5小时,易于控制成分及去除有害杂质,适合冶炼质量要求较高的钢材。锅炉钢材中大部分(碳钢及部分低合金钢)是平炉钢。平炉钢也称为“马丁炉钢”。

(2) 电炉钢 电炉钢是在电炉里利用电弧的高温来熔化铸铁和废钢所冶炼出的钢。此种冶炼方法,由于没有氧化火焰的接触,能准确控制炉温又能较完全地去除有害杂质,故可炼制质量很高的钢。锅炉钢材中的高合金钢及部分低合金钢是电炉钢。

(3) 转炉钢 转炉钢是在可转动的转炉里靠空气吹液态铸铁(底吹或侧吹)从而烧掉碳、硅、锰等元素所炼出的钢。停止吹空气后,加入一些元素达到脱氧和得到所需化学成分。整个过程约20分钟,时间短,不易控制成分,难于有效地去除杂质,故钢的质量不高,难于满足锅炉制造对钢材质量的要求。在旧的锅炉规程中,规定锅炉承压部件所用钢板只能采用平炉钢与电炉钢,不许用转炉钢。

50年代出现了氧气顶吹转炉钢,这种钢与平炉钢比具有冶炼速度快、成本低、投资少、基建快等优点,而且可得到质量较高的钢材,故新近的锅炉规程已不再明确规定不许使用转炉钢。国际锅炉规范规定锅炉钢板须为平炉、电炉或任何能够给出同样质量的其他钢,同样,也不规定不许使用转炉钢。

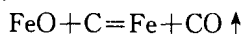
转炉钢有时也称为“贝氏麦炉钢”(酸性底吹转炉钢)和“托马斯钢”(碱性底吹转炉钢)。

按炉、炉衬材料的不同,转炉钢、平炉钢、电炉钢又分为酸性炉钢及碱性炉钢。酸性炉钢的夹杂物比碱性炉钢低,含氢量也较少,但无法去除硫、磷,对硫、磷含量的控制,可通过严格要求炉料达到,因此,成本有所提高。锅炉钢材大多为碱性炉钢。

2. 按脱氧情况的不同,分为:

(1) 镇静钢 用锰铁、硅铁和铝进行完全脱氧的钢称镇静钢。此种钢水注入钢锭铸模后很少析出气体,钢水在钢锭铸模中安静凝固,凝固后组织紧密,仅在钢锭上部开成集中缩孔,后者可在轧钢时截去。锅炉受压元件一般都采用镇静钢。

(2) 沸腾钢 脱氧不完全的钢属于沸腾钢。钢水中留有FeO,钢水注入钢锭铸模后发生如下反应:



反应时放出大量CO气体,造成钢水沸腾现象。钢锭凝固后,部分CO以气泡形式残留在内,增加了钢锭尺寸。钢锭上部没有集中缩孔,利用率增加,成本降低;但残留的气泡布满全锭,使钢锭内部结构疏松,尽管轧制时这些气泡可以压合,但在以后卷板、压制过程中,气泡压合处仍可能分开,故锅炉受压元件一般不采用沸腾钢,锅炉构架等元件一般可以采用。

(3) 半镇静钢 介于镇静钢与沸腾钢之间,一般仅锅炉构架等非受压元件可以应用。

(二)按化学成分

按化学成分的不同,钢材可分为碳钢及合金钢两大类。

1. 碳钢 碳钢根据含碳量的不同,又分为:

(1) 低碳钢——含碳量小于0.25%;

(2) 中碳钢——含碳量在0.25%~0.6%之间;

(3) 高碳钢——含碳量大于 0.6%。

2. 合金钢 合金钢根据合金元素含量的不同,又分为:

(1) 低合金钢——合金元素总含量小于 5%;

(2) 中合金钢——合金元素总含量在 5%~10%之间;

(3) 高合金钢——合金元素总含量大于 10%。

合金元素含量大于 50%时,称为“合金”。

低、中压锅炉受压元件几乎全由低碳钢制造;高压锅炉受压元件大部分也由低碳钢制造,仅一部分过热器蛇形管、集箱及蒸汽管道等由低合金钢(低碳低合金钢)制造;超高压锅炉受压元件采用低合金钢数量较多,而且有时还必须用一部分高合金钢(低碳高合金钢)。

锅炉机组中,与高温火焰直接接触的吹灰器、固定件采用耐高温的高合金钢;紧固件常由中碳钢、中碳中合金钢制造。

(三)按金属质量

按金属质量的不同,钢材分为普通质量钢、优质钢及高优质钢。它们间的主要区别表现在有害杂质——硫、磷的含量上,优质钢、高优质钢对非金属的夹杂物的清除、微观及宏观组织的均匀性、钢锭及半成品(钢板、钢管)中缺陷的清除等都提出更高的要求。

1. 普通质量钢 一般规定含硫(S)不超过 0.05%,含磷(P)不超过 0.055%,但酸性转炉钢的含 S 及 P 量可适当放宽。

普通质量钢的碳钢又可分为

(1) 甲类钢——只保证机械性能;

(2) 乙类钢——保证化学成分,但不保证机械性能;

(3) 特类钢——既保证机械性能又保证化学成分。

普通质量碳钢,主要用于构架等非受压元件。低压锅炉的锅筒可用平炉冶炼的普通镇静钢,如 A3g 来制造。

普通质量低合金钢是在普通质量碳钢的基础上加少量(一般总量不超过 3%)我国富产的合金元素而冶炼的,一般用于构架等元件。

2. 优质钢、高优质钢

优质钢一般规定含 S 不超过 0.045%,含 P 不超过 0.04%。

高优质钢一般规定含 S 不超过 0.02%,含 P 超过 0.03%。

锅炉受压元件一般都由优质钢、高优质钢制造。

(四)按金相组织

按正火后金相组织的不同,锅炉钢材分为:

1. 珠光体钢 锅炉用碳钢、大部分低合金钢、正火后得到珠光体加铁素体的金相组织,此种钢称“珠光体钢”。

2. 贝氏体钢 一些新牌号锅炉钢材,如 14MnMoV,无铬 8 号、钢 102 等,正火后得到贝氏体组织,它们属于“贝氏体钢”。

3. 奥氏体钢 钢材中锰或镍的含量很多时(约 10%以上),常温下可得到奥氏体组织,此种钢称为“奥氏体钢”。国外广泛采用含镍的奥氏体钢,我国由于缺乏镍,已研制出一

些含锰的奥氏体钢。

4. 铁素体钢 加热和冷却过程中没有相变始终保持为铁素体的钢称为“铁素体钢”。高铬钢即属于铁素体钢。一般用来制作吹灰器零件、受热面固定件等。

二、钢材牌号的表示方法

钢材牌号便于人们识别不同种类的钢材,根据牌号就可以知道这种钢材的组成成份和各种性能,给生产设计、科技交流带来极大的方便。我国解放前没有自己的钢材标准,应用外国牌号,所以非常混乱。

1952年,重工业部分布了第一套部颁钢铁标准(重标),规定了汉语注音字母的钢号表示方法。1959年冶金部颁布了以汉字与汉语拼音并用的“钢铁产品牌号表示方法”,1963年进行了部分修订。1964年,国家科委实施了“钢铁产品牌号表示方法”的国家标准(GB221-63)。

按 GB221-63 的规定,钢材的冶炼方法、用途、类别采用汉字及汉语拼音字母并用的原则表示,见表 1-1。钢材中的合金元素采用国际化学符号表示。

牌号表示方法(参见表 1-1)

表 1-1 常用冶炼方法、用途、类别的表示方法

名 称	汉字表示	拼音字母表示	拼 音
酸性平炉	平	P	Ping
碱性平炉	(不表示)	(不表示)	
酸性侧吹转炉	酸	S	Suan
碱性侧吹转炉	碱	J	Jian
顶吹转炉	顶	D	Ding
沸腾钢	沸	F	Fei
半镇静钢	半	b	Ban
镇静钢	(不表示)	(不表示)	
锅炉钢板	锅	g	Guo
容器钢板	容	R	Rong
焊条用钢	焊	H	Han
甲类钢	甲	A	
乙类钢	乙	B	
特类钢	特	C	
高优质钢	高	A(置于尾部)	Gao
铸造生铁	铸	Z	Zhu

注:1. 铸钢、铸铁也可用下法表示:

铸钢 ZG (Zhu Gang); 灰口铸铁 HT (Hui Tei);

球墨铸铁 QT (Qiu Tei)

2. 原则用第一个字母;如重复,取第二个字母。

1. 普通碳钢 以 AJ3F、B3、A3g 等表示。

AJ3F 表示甲类碱性转炉 3 号沸腾钢;B3 表示乙类碱性平炉 3 号镇静钢;A3g 表示甲

类碱性平炉 3 号镇静钢锅炉钢板。

2. 优质钢 以 10、20 等表示。

数字 10、20 表示平均含碳量,此数字除以 100 约等于平均含碳量的百分数,例如,20 号钢表示 0.17%~0.25% 的优质碳钢。

3. 优质碳钢锅炉钢板 以 15g、20g 等表示。

数字 15、20 表示的内容与上述优质碳钢相同,字母 g 表示锅炉钢板,例如,20g 表示含碳量为 0.17%~0.25% 的优质碳钢锅炉钢板。

4. 含锰较多的优质碳钢钢板,以 16Mn 等表示。

数字 16 表示的内容与上述优质碳钢相同,Mn 表示锰的含量比碳钢中常规含量要高,例如,16Mn 表示含碳量 0.12%~0.20%,含锰量为 1.20%~1.60% 的优质碳钢钢板。

5. 合金钢 以 15CrMo、1Cr18Ni9Ti、12MoVWBSiRe 等表示。

最前面的数字表示平均含碳量,此数字除以 100 或 10 等于平均含碳量的百分数。

化学符号表示有意加入的合金元素,其平均含量等于或大于 1.5%、2.5%……时,在相应的化学符号之后写成 2、3……等;若平均含量小于 1.5%,仅写出化学符号,其后面不注数字。

例如:

15CrMo 表示含 C=0.12%~0.18%、Cr=0.8%~1.10%、Mo=0.4%~0.55% 的合金钢。

1Cr18Ni9Ti 表示含 C≤0.12%、Cr=17%~19%、Ni=8%~11%、Ti≈0.55% 的合金钢。

12MoVWBSiRe 表示含 C=0.08%~0.15%、Mo=0.45%~0.65%、V=0.3%~0.5%、W=0.15%~0.4%、B=0.008%~0.01% (加入量)、Si=0.6%~0.9%、Re=0.15% (加入量) 的合金钢。

如果两个牌号的化学成分仅一种元素有区别,且这一元素的含量均小于 1.5%,这时,在此元素含量较高的牌号中,于该元素前加注 1 以示区别,例如,12Cr1MoV 与 12CrMoV。

如钢号最后有 A 字,表示此钢号为高优质钢。

6. 铸造生铁 以 Z40 (铸 40) 等表示。

数字 40 表示平均含硅量的千分数,例如,Z40 表示含 Si=3.74%~4.25% 的铸造生铁。

铸造生铁也可表示为:

(1) 灰口铸铁——以 HT15-33 等表示。

数字 15 表示抗拉强度 $\sigma_b = 150\text{N/mm}^2$,数字 33 表示抗弯强度 $\sigma_w = 330\text{N/mm}^2$ 。

(2) 球墨铸铁——以 QT45-5 表示。

数字 45 表示抗拉强度 $\sigma_b = 441\text{N/mm}^2$,数字 5 表示伸长率 $\delta_5 = 5.0\%$ 。

7. 铸钢 以 ZG25、ZG20CrMo 等表示。

数字 25、20 表示平均含碳量的万分之几,化学符号 Cr、Mn 等表示所含的合金元素。

§ 1-3 锅炉用钢与铸铁

锅炉是在承压状态下工作,有些元件同时还要承受高温。根据工作温度的不同,锅炉用钢可分为两类,一类是在室温及中温(蠕变温度以下)条件下所用的钢材,主要是钢板(用于制造锅壳、锅筒)和部分钢管(用于制造蒸发受热面、省煤器和一些不受热承压元件);另一类是在高温(蠕变温度以上)条件下所用的钢材,主要是钢管(用于制造过热器受热面、过热蒸汽管道和集箱、再热器受热面等)。为了保证锅炉安全工作,对所用钢材具有一定的要求。

一、锅筒用钢板

锅筒是锅炉中最重要的受压元件,对锅筒用钢有以下一些要求。

钢材应具有较高的室温及中温强度;设计锅筒时以钢材的屈服极限和强度极限值为依据,由于锅筒直径较大,随着压力的增高,壁厚不断增加,给制造工艺(卷板、压制、焊接等)带来许多困难,也使重量明显增加。目前,中低压电站锅炉采用屈服限为 $250\sim 400\text{N/mm}^2$ 级的钢板;高压、超高压电站锅炉采用屈服限为 500N/mm^2 级的钢板。例如,一台 20 万千瓦电站锅炉锅筒(工作压力为 15.5MPa),如采用屈服限为 500N/mm^2 级的 10MnMoVg 钢板,其厚度约为 80mm ,重量(不包括锅内设备)达 100 吨;若采用屈服限为 220N/mm^2 的 22g 钢板,其厚度达 150mm ,重量达 185 吨,显然这是很不合理的。只有低压锅炉才选用低于 250N/mm^2 级的钢板。

钢板应具有良好的塑性、加工工艺性能和焊接性能;锅筒制造一般都采用卷板、压制后焊接的生产工艺。因此,应充分考虑在制造过程中的加工成形性能和焊接工艺对钢材性能产生的影响。焊接热循环往往降低了焊接热影响区材料的韧性和塑性,或在焊缝内产生各种焊接缺陷,导致焊接接头产生裂纹。所以选材时应考虑钢材中合金元素的含量,以保证具有较好的焊接性能。一般都采用塑性较好的低碳钢或低碳低合金钢。

应具有良好的韧性:以保证锅炉在正常工作条件下,当承受外加动载荷时不发生脆性破坏,选材时应防止片面追求材料的强度而忽略韧性。材料韧性一般用冲击韧性值 α_k 表示,在室温时, $\alpha_k \geq 60\text{N} \cdot \text{m/cm}^2$,在 -40°C 时, $\alpha_k \geq 35\text{N} \cdot \text{m/cm}^2$ 。另外锅筒用钢应具有较小的时效敏感性,由于钢材经冷加工后,在室温或较高温度下,冲击值将随时间推移不断下降,在 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 时,此过程进行得最为强烈,冲击值可能有较大的下降,而这个温度区间正是一般锅筒的实际工作温度。一般要求时效后的冲击值下降率就小于 50% 或下降后的值不小于 $30\sim 35\text{N} \cdot \text{m/cm}^2$ 。为使时效敏感性下降,冶炼时希望采用铝作为脱氧剂。

由上可见,选择制造锅筒用的钢板应做到:

- (1) 所用钢板应是平炉、电炉钢或其它能够给出同样质量的钢;
- (2) 应采用镇静钢;
- (3) 应采用优质或高优质钢,普通质量钢仅用于低参数锅筒上;
- (4) 所用的钢板应具有良好的低倍组织,要求钢的非金属类夹杂、气孔、疏松等缺陷尽可能少,不允许有白点、分层、裂纹。

目前,我国生产的用于制造锅筒的钢板近十种,它们的应用范围如表 1-2 所示。其化学成分和机械性能可参阅有关文献。

表 1-2 锅炉钢板的应用范围

序号	钢 号	工作压力(MPa)	建 议 应 用 范 围
1	A3g	≤ 1.6	低压小型锅炉
2	20g	≤ 6.0 ①	低、中压锅炉,使用温度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$
3	22g	≤ 6.0	中压锅炉,使用温度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$
4	12Mng	≤ 6.0	中压锅炉,使用温度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$
5	16Mng	≤ 6.0	中压锅炉,使用温度 $-40\sim 450^{\circ}\text{C}$
6	15MnVg	≤ 6.0	中压锅炉,使用温度 $-40\sim 450^{\circ}\text{C}$
7	14MnMoVg	≤ 6.0 ①	高压、超高压锅炉,使用温度 $-20\sim 500^{\circ}\text{C}$
8	18MnMoNb g	≤ 6.0 ①	高压、超高压锅炉,使用温度 $0\sim 520^{\circ}\text{C}$

注:①制造不受辐射热的锅筒时,工作压力不受限制。

A3g 是用于制造低压小型锅炉的钢板。虽是甲类普通碳钢钢板,但由于用来制造受压元件,因此,它的技术条件已近于对优质钢的要求。

20、22g 是过去中、高压锅炉常用的钢板,但由于强度不高,屈服限约为 250N/mm^2 级,作出的锅筒壁厚较大。

根据我国资源特点,近十多年来,研制出以下一些牌号的钢板。

12Mng 是屈服限为 300N/mm^2 级的低合金钢钢板,用它代替 20g 可减小壁厚 15% 以上。

16Mng 是屈服限为 350N/mm^2 级的低合金钢钢板,代替 20g 可使壁厚减小 25%~30%,但这种钢对缺口的敏感性较碳钢为大。

15MnVg 是屈服限为 400N/mm^2 级的低合金钢钢板,但这种钢的缺口敏感性较大。

14MnMoVg 屈服限为 500N/mm^2 ,钢中加入了约 0.5%Mo 及少量 V 提高了屈服限,适合生产 60mm 以上的厚钢板,作高压、超高压锅炉筒用。但这种钢对热处理较敏感,尤其对 α_k 及 δ 影响较大。生产中要防止钢中夹层及白点。水调质的热处理方式(970°C 四小时后水冷+ 650°C 八小时后空冷)可明显提高 14MnMoVg 在工作温度(350°C)及常温条件下的屈服限及抗拉强度,但塑性略有降低;控制水冷的热处理方式(970°C 二小时后空冷+ 970°C 二小时后空冷至 800°C 水冷+ 650°C 八小时后空冷)既能提高强度又不降低塑性。

18MnMoNb g 是利用我国富有资源 Nb 的屈服限达 500N/mm^2 级的低合金钢钢板。可用来制造高压、超高压锅炉的锅筒。我国第一台 20 万千瓦锅炉的锅筒即用这种钢板制造的。

目前,我国有些高压、超高压锅炉的锅筒由前苏联 16ГНМ(16 锰镍钼)牌号钢板制成。这种钢是前苏联 1958 年前后研制的,国内个别电站的锅筒上曾出现多处裂纹,最深达 14mm,今后运行中应加强监督。

我国有的超高压锅炉用德国 BHW-38(锰钼钒低合金钢)牌号钢板制造。这种钢对热处理规范的敏感性较大,当热处理工艺或结构考虑不周时,有在水压试验时发生爆破的例子。