维普资讯 http://www.cqvip.com

国外焊接

火力发电锅炉用高铬铁素体钢焊接材料①

钢铁研究总院(北京市　100081)　　尹士科　谢少辉(编译)

摘要　为了降低危害环境气体的排放量,一种观点认为这可以通过提高蒸汽状态来解决,并由此开发出了火力发电锅炉用高 Cr 铁素体耐热钢。为使这种高 Cr 铁素体耐热钢得到应用,选取合适的焊接材料是非常必要的。对火力发电锅炉用高 Cr 铁素体耐热钢焊接材料及其近来趋势做了概述。

关键词:　高铬铁素体　耐热钢　焊接材料

WELDING CONSUMABLES OF HIGH Cr FERRITIC HEAT RESISTANT STEELS USED FOR STEAM POWER BOILERS

Central Iron and Steel Research Institute　　**Yin Shike, Xie Shaohui**

Abstract　Invorder to reduce thre emission of environmentally damaging gases by elevating steam conditions, high Cr ferritic heat resistant steels used for steam power boilers have been developed. For realizant practical uses of such high Cr ferritic heat resistant steels, selection of suitable welding consumables is indispensable. This paper outlines welding consumables of high Cr ferritic heat resistant steels used for steam power boilers and its recent trend.

Key words:　high Cr ferritic,　heat resistant steel,　welding consumables

0　前　　言

近年来,作为全球性的环境问题,被提出的有温室效应气体,并为减少这些气体开展工作。作为削减对象的温室效应气体有二氧化碳、甲烷等六种气体,特别是减少火力发电领域的二氧化碳排出量,成为一个大的目标。为了减少火力发电领域二氧化碳排出量,提高发电效率是有效的。为此,必须提高锅炉出口蒸汽的温度和压力。但是,为了提高蒸汽的温度和压力,必须有在那种苛刻条件下能够长时间使用的钢材。所以,在铁中含有(9 ~ 12) Cr - 0.5 Mo 的被称为高铬铁素体钢的钢种为人们所关注。例如,改良型 9Cr - 1Mo 钢就是一种高铬铁素体钢,它已在很多的火力发电锅炉中得到应用。神钢公司的高铬铁素体钢焊接材料早已得到应用,在本报告中,仅就火力发电锅炉用新型高铬铁素体钢焊接材料加以介绍。

1　高铬铁素体钢

高铬铁素体钢和奥氏体系耐热钢一样,都是很久以来被研究的钢种。与奥氏体耐热钢相比,高铬铁素体钢有着热膨胀系数小的特点。为适应电力需要而反复启动和停机的火力发电锅炉,适于采用这种热膨胀系数小、对温度变化适应性强的高铬铁素体钢。另外,对在高温高压蒸汽条件下长时间使用的耐热材料而言,重要的特性是蠕变断裂强度。为提高蠕变强度,开发了各种钢材。图 1 为火力发电锅炉用铁素体系耐热钢的发展系统图。在钢材的开发上,大体有 3 个类别,即 2.25Cr - 1Mo 钢、9Cr - 1Mo 钢、12Cr 钢。它们都是针对提高蠕变断裂强度,有的加入 Nb、V 等碳化物析出强化元素,有的加入 Mo、W 等固溶强化元素,试图通过调整成分来达到目的。近年来,不仅单独调整成分,还提出了通过热处理及加工方法等综合手段,以开发新

① 原文发表在"神户制钢技报"2003 年第 2 期,作者:山下賢,後藤明信。

维普资讯 http://www.cqvip.com

的钢材。表1示出了代表性的高铬铁素体钢材的标称化学成分。

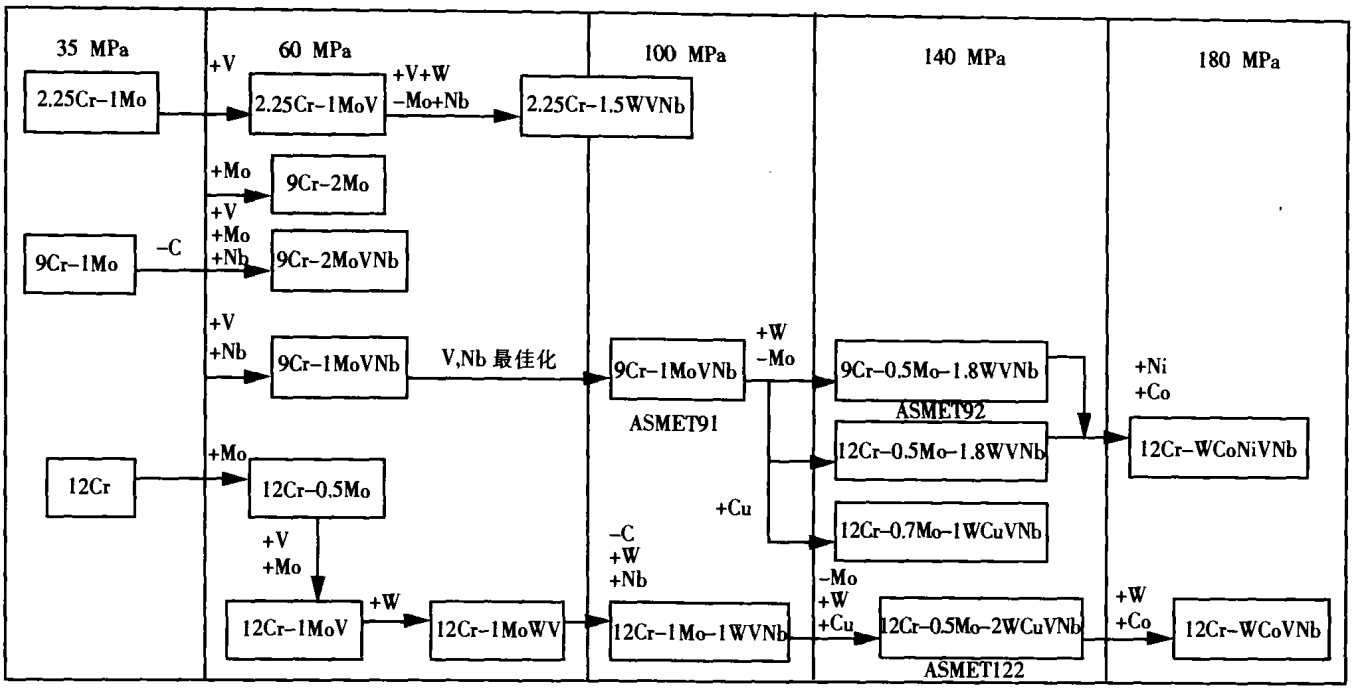

图1 火力发电锅炉用铁素体耐热钢的发展系统图

表1 代表性的新型高铬铁素体钢的标称化学成分(%)

型号	ASME	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Cu	V	Nb	B	N
改良型9Cr-1Mo钢	T91	0.10	0.4	0.45	9.0	1.0	-	-	0.20	0.08	-	0.05
(9~12)Cr-0.5Mo-1.8W钢	T92	0.07	0.06	0.45	9.0	0.5	1.8	-	0.20	0.05	0.004	0.06
	T122	0.11	0.1	0.60	12.0	0.4	2.0	1.0	0.20	0.06	0.003	0.06

2 焊接材料

高铬铁素体钢焊接材料与钢材一样,除要求蠕变断裂强度外,还要求一定水平的冲击性能。可是,蠕变断裂强度与冲击性能是相互矛盾的特性,如何兼得这两种性能,对于焊接材料是极为重要的课题。通常,高铬铁素体钢的焊缝金属只有经过低于钢材回火温度的焊后热处理(PWHT)才能使用。基于此点,为了达到规定的蠕变强度和冲击性能,在高铬铁素体钢焊接材料的成分设计上必须有新的思路。

2.1 改良型9Cr-1Mo钢焊接材料

表2、表3中列出了改良型9Cr-1Mo钢焊接材料的焊缝金属化学成分与力学性能之一例。为了得到良好的力学性能,焊缝金属的成分系统在设计上与钢材有如下不同之处(但是,为了使CM-96B、TGS-90B9与AWS标准相一致,与其它品种不相同)。

第一个不同点是C,与钢材相比,焊缝金属的含C量低,其目的在于确保焊缝金属的抗裂性能和冲击性能。作为焊接这种方法的特性,焊缝金属经受着急速的凝固冷却过程。因此,焊缝金属的强度有增高的倾向。如果其含碳量与钢材水平相当的话,强度会变得过高,有引起抗裂性和冲击性能恶化的危险性。

第二个不同点是与钢材相比,焊缝金属的Mn和Ni含量高,其目的在于确保冲击性能。即通过增加奥氏体生成元素Mn和Ni等,以抑制能恶化冲击性能的δ铁素体残留。

第三个不同点是Nb,焊缝金属中的Nb,因施工方法的不同会有所变化,但与钢材相比,Nb的含量低,其理由也在于确保冲击性能。Nb是强的碳化物形成元素,通过焊后热处理,焊缝金属中会析出极微细的MX系碳化物,它有着使蠕变断裂强度提高的特征。但是,它有相反的一面,这些微细的MX碳化物会显著地恶化冲击性能。为此,Nb的加入量要能兼顾到蠕变断裂强度和冲击性能两个方面。V是与Nb有着同样强化

维普资讯 http://www.cqvip.com

程度的碳化物形成元素，与 Nb 相比，V 析出的碳化物稍为粗大些，因此，对冲击性能的不利影响没有 Nb 那样严重。为了保证蠕变断裂强度，它的含量可与钢材中的含量水平相当。

另外，高铬铁素体钢焊缝金属蠕变断裂强度要高于焊接接头的蠕变断裂强度。由于热影响区(HAZ)软化现象，热影响区强度要低于钢材强度，这就是说焊接接头的蠕变断裂强度因受钢材热影响区的左右而降低。

表 2　改良型 9Cr－1Mo 钢焊接材料的化学成分(%)

焊接方法	焊接材料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb
手工焊	CM－9Cb	0.06	0.31	1.51	0.006	0.003	0.94	9.11	1.06	0.18	0.03
	CM－96B9	0.11	0.23	1.12	0.009	0.002	0.83	9.13	0.99	0.23	0.04
TIG 焊	TGS－9Cb	0.07	0.16	0.99	0.007	0.006	0.68	8.97	0.90	0.18	0.04
	TGS－90B9①	0.12	0.17	1.04	0.007	0.005	0.93	9.14	0.91	0.16	0.03
MIG 焊	MGS－9Cb	0.08	0.27	1.29	0.007	0.006	0.38	8.86	0.98	0.19	0.03
埋弧焊	PF－200S/US－9Cb	0.06	0.12	1.58	0.008	0.007	0.55	8.31	0.88	0.21	0.03

① TGS－90B9 是焊丝化学成分。

表 3　改良型 9Cr－1Mo 钢焊接材料的力学性能

焊接方法	焊接材料	PWHT	$\sigma_{0.2}$/MPa	σ_b/MPa	δ(%)	A_{KV}/J	C. R. S.①/MPa
手工焊	CM－9Cb	750℃×5 h	600	750	25	81	140
	CM－96B9	740℃×8 h	637	761	22	48	155
TIG 焊	TGS－9Cb	740℃×8 h	700	780	24	240	155
	TGS－90B9	745℃×8 h	603	770	26	124	145
MIG 焊	MGS－9Cb	740℃×8 h	570	700	27	98	135
埋弧焊	PF－200S/US－9Cb	740℃×8 h	580	710	24	66	140

①蠕变断裂强度(试验条件:600℃,1 000 h)

2.2　(9～12)Cr－0.5Mo－1.8W 钢焊接材料

表 4、表 5 中列出了(9～12)Cr－0.5Mo－1.8W 钢焊接材料的化学成分和力学性能一例。与改良型 9Cr－1Mo 钢相比较，(9～12)Cr－0.5Mo－1.8W 钢的含 Cr 量提高了，而且添加了 W 等新的合金成分，所以它的蠕变断裂强度也高于改良型 9Cr－1Mo 钢。关于(9～12)Cr－0.5Mo－1.8W 钢焊接材料，为了兼得蠕变断裂强度和冲击性能，在成分设计上要使 Cr、Ni、Mo、W 等达到良好的平衡。增加 Cr 含量可使蠕变断裂时间加长(寿命长)，但 δ 铁素体易于残留，冲击性能恶化。Ni 的行为与 Cr 相反，增加 Ni 含量可使蠕变断裂时间缩短，使冲击性能改善。增加 Mo 当量(Mo＋0.5W)可使蠕变断裂时间增长，但 Mo 当量对冲击性能的影响尚不明确。因为 Mo、W 等是铁素体形成元素，可以推测，增加 Mo、W 时与 Cr 一样，易于产生 δ 铁素体残留，对冲击性能造成不利影响。依据上述见解，含有奥化体生成元素的 Co、N 等，可以抑制 δ 铁素体的残留，确保实用水平的冲击性能。另外，通过调整成分，使(9～12)Cr－0.5Mo－1.8W 钢焊接材料的焊缝金属相变点 A_{c1} 达到 760℃以上。这是考虑到了当焊接接头的焊后热处理温度超过焊缝金属的相变点 A_{c1} 时，焊缝金属的显微组织变化将引起蠕变断裂强度的恶化。

表 4　(9～12)Cr－0.5Mo－1.8W 钢焊接材料的化学成分(%)

焊接方法	焊接材料	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Co	Cr	Mo	V	Nb	W	N
焊条电焊	CR－12S	0.06	0.38	0.72	0.005	0.003	0.01	0.48	1.56	9.49	0.20	0.29	0.03	1.50	0.05
TIG 焊	TGS－12CRS①	0.07	0.35	0.74	0.004	0.003	0.01	0.51	1.01	9.92	0.35	0.21	0.04	1.45	0.04
MIG 焊	MGS－12CRS	0.07	0.31	0.93	0.005	0.004	0.01	0.50	1.50	9.54	0.40	0.29	0.04	1.60	0.04
埋弧焊	PF－200S/US－12CRS	0.09	0.15	0.99	0.007	0.003	0.37	0.98	0.14	10.74	0.23	0.19	0.03	1.77	0.02

①TGS－12CRS 是焊丝化学成分。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表5 (9~12)Cr-0.5Mo-1.8W钢焊接材料的力学性能

焊接方法	焊接材料	PWHT	焊缝金属力学性能				
			$\sigma_{0.2}$/MPa	σ_b/MPa	δ(%)	A_{KV}/J	C.R.T.①/h
手工焊	CR-12S	750℃×8 h	648	768	26	40	1785
TIG焊	TGS-12CRS	740℃×8 h	686	790	23	44	3915
MIG焊	MGS-12CRS	740℃×8 h	619	745	27	47	1670
埋弧焊	PF-200S/US-12CRS	740℃×8 h	624	781	22	37	2635

①蠕变断裂时间(试验条件:650℃,98 MPa)

3 最近的技术动向

有关电工产品的日本国内法令规定,改良型9Cr-1Mo钢等高铬铁素体钢的焊后热处理温度在760℃以下。为此,在日本国内的施工中,考虑到热处理炉的温度波动,焊后热处理的目标温度是740℃左右,即考虑其实体温度不超过760℃。在国外的法规中,例如ASME,焊后热处理温度定为母材的相变点A_{c1}以下,严格来说,没有规定要限制在760℃以下。因此,在国外的施工中,为了保证冲击性能,把焊后热处理的目标温度定在760℃,即实体温度上升到780℃的焊后热处理也是有的。这样高温的焊后热处理,有时会导致焊缝金属的蠕变断裂强度恶化,有必要加以注意。如果焊后热处理的温度超过了焊缝金属的相变点A_{c1},焊缝金属的显微组织要发生变化,组织的均匀性受到损坏,有使蠕变断裂强度恶化的危险性。因此,在超过760℃的温度下进行焊后热处理的场合,应该选择相变点A_{c1}至少在780℃以上的焊接材料。从以上情况出发,在欧美国家为了保证焊缝金属的相变点A_{c1}大于780℃,焊缝金属中的Mn+Ni量有规定小于1.5%的动向。

4 结 语

为了减少CO_2的排出量,开发能在更高温度和压力下使用的钢材,将会被人们所关注。作为钢材实用化骨干技术的焊接材料,无疑会占有极大的份量。作为高铬铁素体钢焊接材料的今后课题,是将蠕变断裂强度和冲击性能这两个相互对立的特性同时达到高的水平。还要兼顾环境,以能为改善环境做贡献的焊接材料为目标,进一步做好开发。

(收稿日期 2004 10 01)

作者简介: 尹士科,1941年生,大学本科,教授级高级工程师。

[上接第33页]

2 min有利于Zn-Al-Cu-Mg钎料在45钢上铺展。

(2) 稀土La可以改善Zn-Al-Cu-Mg钎料的润湿性。随着稀土含量的的增加,润湿性得到进一步改善,稀土La的最佳量为0.05%。

(3) 稀土能降低Zn-Al-Cu-Mg钎料的表面张力,并起到细化晶粒的作用,添加一定量的稀土有利于钎料润湿性的提高。

参 考 文 献

1 刘盛斌,于以繁. 锌铝合金的发展与运用. 材料导报,1994(5):30~32

2 Liu Jinshui, Xie Xianqing, Jiang Bing, et al. Influence of Cerium microstructures and properties of Zinc-aluminum alloys. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1998, 8(suppl 1):6~10

3 William Hoke. Calvin Amenhener Techniques for aluminum brazing in vacuum furnaces. Welding Journal, 1993(10)

4 赵玉珍,高 庆,张喜燕. 稀土、钛变质ZA27合金的组织与性能的研究. 铸造,2003(4):484~487

5 Anwaqr M, Murphy S. Comparative load-relaxation behavior of high aluminum Zinc-based alloys. Materials Science, 2001, 36: 411~417

6 稀土编写组. 稀土(上册). 北京:冶金工业出版社,1978:20

7 邹 僖,魏月贞. 焊接方法及设备(四). 北京:机械工业出版社,1981.

8 苏化普,45钢的概况及热处理方法. 机械工人(热加工),2002,(12):31~33

9 中国机械工程学会焊接学会编写组. 焊接手册(第一卷). 北京:机械工业出版社,2001(8):527,533~534

10 韩青有,胡汉起,曾诚荫. RE对ZA-27合金组织和性能的影响. 北京科技大学学报,1992,(1):42~48

11 彭日升,刘 杰,刘志勇等. ZA-27合金稀土变质机理研究. 中国稀土学报,1993,(6):148~152

(收稿日期 2004 09 20)

作者简介: 慕 东,1977年生,在读硕士研究生。