

文章编号: 1002-5855 (2008) 03-0015-04

超低温阀门用奥氏体不锈钢

梁静¹, 梁绪发²

(1. 沈阳市装备制造工程学校, 辽宁 沈阳 110026; 2. 沈阳盛世高中压阀有限公司, 辽宁 沈阳 110142)

摘要 分析了超低温阀门的选材要点, 介绍了奥氏体不锈钢的性能、选用及工艺处理。**关键词** 超低温阀门; 选材; 奥氏体不锈钢; 性能; 深冷处理**中图分类号**: TGI42.71 **文献标识码**: A

Austenitic stainless steel used for cryogenic valve

LIANG Jing¹, LIANG Xufa²

(1. Shenyang Equipment Manufacture Engineering School, Shenyang 110026, China;

2. Shenyang Shengshi High and Medium Pressure valve Co., Ltd, Shenyang 110142, China)

Abstract: Analyzes the key points of material selection for cryogenic valve, introduces the properties, selecting and processing of austenitic stainless steel.**Key words**: cryogenic valve; material selection; austenitic stainless steel; properties; subzero treatment

1 概述

奥氏体不锈钢是在使用条件下以奥氏体组织或以奥氏体组织为主的不锈钢。奥氏体不锈钢具有多种优越的性能, 可用于各种不同的领域中, 尤其是优异的低温韧性使之作为低温结构材料而被广泛应用于超低温工程中。目前, 超低温阀大多选用奥氏体不锈钢制造。

2 分析

2.1 工况条件

超低温阀门是低温工程中不可缺少的流体管路控制装置。超低温阀门的功能与普通阀门基本一致, 也是用于接通或切断管路介质、调节介质压力和流量。目前, 超低温阀门有闸阀、截止阀、止回阀、球阀、蝶阀及节流阀等类型, 主要用于气体的液化、分离、输送和贮存等设备上。使用温度可达 - 270 以下。

超低温阀是在深冷的低温范围内工作的阀门。对其工作温度的划界, 目前尚无统一的规定。例如俄罗斯(前苏联)把在 - 272 ~ - 153 温度范围工作的阀门称为超低温阀门。日本液化石油气管理法把工作在低于 - 150 的阀门称为超低温阀门。我国目前尚未规定超低温阀门的温度界限。在阀门

行业, 趋向以 - 100 作为超低温阀门的工作温度上限, 也就是把工作温度低于 - 100 的阀门定为超低温阀门。这是一种按阀门使用材料来进行分界的方法。即当工作温度 < 100 时, 阀门的主体材料选用奥氏体不锈钢。

2.2 选材

超低温阀门的工作介质不仅温度低, 而且大部分或有毒, 或易燃易爆, 而且渗透性强, 因此决定了对阀门用材的诸多特殊要求。

(1) 良好的耐低温性

超低温阀不仅要求在设定的温度下能正常工作, 同时也要保证在常温下的工作性能。因此, 所选材料既要满足常温力学性能, 又要符合使用温度下对力学性能的要求。尤其要求材料在超低温下应具有足够的韧性以防止低应力下的脆性断裂。同时要求材料组织稳定, 保证在使用过程中不会因相变而引起尺寸变化, 最终导致阀门密封失效。

(2) 与介质相容性

超低温阀门用材应与工作介质相容, 即对介质具有足够的化学抵抗力, 保证阀门在使用期限内, 与介质相接触材料的化学及物理性质不会发生显著变化。同时, 阀门用材还应符合低温介质防爆性的

作者简介: 梁静(1976-), 女, 讲师, 从事机电一体化教学和研究工作。

相容条件。

(3) 低的热导率

由于超低温阀的工作温度很低,为降低传热,控制热漏,阀门除采用特殊结构(设置绝热装置)外,还应选用热导率相对低的材料,以减少热损失。

(4) 良好的焊接性能

锻焊结构的阀体材料或对焊连接的阀门主体材料,应考虑材料的焊接性能和使用温度下焊缝的可靠性。需熔敷特殊合金(如Co-Cr-W硬质合金)的密封面时,还应考虑材料本身堆焊(喷焊)的可行性。

经过分析,具有面心立方晶格的铜、铝合金和奥氏体不锈钢等材料,因没有低温脆性现象,故可作为超低温阀门用材。虽然铜、铝合金各有一定的

优点,但因强度低,一般只用于低压及小口径阀门。而9%镍钢虽然可用于-196℃工况中,但由于工艺复杂,一般很少选用。只有奥氏体不锈钢适宜作为各种规格、不同压力等级的超低温阀门用材。

3 奥氏体不锈钢

3.1 种类

奥氏体不锈钢的种类繁多,但在超低温阀门制造中,广泛应用的是Cr-Ni奥氏体不锈钢,即美国标准中的300系列不锈钢(表1)。其中,F304、F304L、F316和F316L是超低温阀中用量较多的几种牌号。这四种牌号钢都属于亚稳型不锈钢,在超低温下会发生马氏体转变(即相变),如果需要得到稳定的奥氏体组织,可选用F310奥氏体不锈钢。

表1 常用超低温奥氏体不锈钢的化学成分

钢号	C	Cr	Ni	Mn	P	S	Si	Mo	Nb + Ta	Ti	Wt %
F304	0.080	18.0~20.0	8.0~11.0	2.00	0.045	0.030	1.00	—	—	—	
F304L	0.030	18.0~20.0	8.0~13.0	2.00	0.045	0.030	1.00	—	—	—	
F310	0.250	24.0~26.0	19.0~22.0	2.00	0.045	0.030	1.00	—	—	—	
F316	0.080	16.0~18.0	10.0~14.0	2.00	0.045	0.030	1.00	2.00~3.00	—	—	
F316L	0.030	16.0~18.0	10.0~15.0	2.00	0.045	0.030	1.00	2.00~3.00	—	—	
F321	0.080	17.0~19.0	9.0~12.0	2.00	0.045	0.030	1.00	—	—	5 × C ~ 0.70	
F347	0.080	17.0~19.0	9.0~13.0	2.00	0.045	0.030	1.00	—	10 × C ~ 1.1	—	

注:F304、F304L、F316和F316L钢的最大含N量为0.10%。

表1中所列各种牌号的不锈钢可用于超低温下-254℃或更低。在国外的一些标准或规范中,对奥氏体不锈钢的使用温度范围有明确的规定。例如日本高压气体法规定,SUS304L和SUS316L(相当于F304L和F316L)允许使用到-269℃,而SUS304和SUS316(相当于F304和F316)只允许使用到-254℃,这可能是由于SUS304和SUS316在焊接过程中,其热影响区容易产生晶界碳化物,可造成低温劣化而导致冲击韧性下降的原因。

3.2 性能

随着温度的下降,奥氏体不锈钢的强度显著提高(表2)。从强度观点看,这意味着在常温下有足够强度的阀门在超低温下也必然是安全的。强度的提高,对韧性的影响较小,只是稍有下降。这就是奥氏体不锈钢能成为超低温阀门用材的主要原因。

奥氏体不锈钢的组织为面心立方结构,低温下

没有脆性转变现象。除非存在第二相或处于导致应力腐蚀断裂的环境下,否则不会发生脆性断裂,韧性也不会随温度下降而突然下降。其主要原因是当温度降低时,面心立方金属的屈服强度没有显著变化,而且不易产生形变孪晶,位错容易移动,局部应力易于松弛,裂纹不易传播,一般没有从延性到脆性的转折(温度)。所以在超低温下,仍能保持较高的冲击韧性(表3),而且远远超过27J(该值为欧盟97/23/EC《承压设备指令》所规定的低温用钢所必须的最小平均冲击功),可完全满足超低温阀门的使用要求。

3.3 铸件

在超低温阀门制造中,经常采用奥氏体不锈钢铸件作为阀门的主体材料。铸件易于成型,对以锻造方法难以成型的零件,采用铸造方法则很容易获得。目前,国际上通用的是美国ASTM A351 CF类不锈钢铸件。

表2 几种奥氏体不锈钢的力学性能

钢号	试验温度 t	屈服强度 $\sigma_{0.2}$	抗拉强度 σ_b	50.8mm 标距内的延伸率	断面收缩率
		MPa	MPa	%	%
304	23.9	231	595	60	70
	- 178.9	400	1439	43	45
	- 237.2	446	1712	48	43
304L	23.9	196	595	60	60
	- 178.9	245	1362	42	50
	- 237.2	237	1540	41	57
310	23.9	315	665	60	65
	- 178.9	588	1103	54	54
	- 237.2	809	1243	56	61
347	23.9	245	630	50	60
	- 178.9	288	1302	40	32
	- 237.2	319	1472	41	50

表3 奥氏体不锈钢的夏比 V形缺口冲击值 J

钢号	27	- 196	- 218	- 254
304	208.8	118	121.6	122
304L	160	90.9	90.9	90.9
310	192.6	120.7	116.7	116.6
317	162.7	89.5	77.5	77.3

由于铸件可能存在着合金偏析和树枝晶组织等缺陷,加之 CF 类不锈钢铸件都含有一定数量的铁素体,因此其低温韧性必然受到影响。一般情况下,CF 类不锈钢铸件的低温冲击值要低于同种牌号的变形合金。与美国 ASME B16.3《工艺管路》所规定的 CF 类不锈钢铸件的应用温度范围不同,日本 JIS 8243《压力容器的结构》和高压气体管理法都将奥氏体不锈钢铸件的最低使用温度限制在 -196 (表 4)。

表4 奥氏体不锈钢铸件使用温度

ASTM	JIS	最低温度()	
		JIS B8243	ANSI B31.3
A351	G5121		
CF8	SCS13A	- 196	- 254
CF8M	SCS14A	- 196	- 254
CF3	SCS19A	- 196	- 254
CF3M	SCS16A	- 196	- 254
CF8C	SCS21	- 196	- 198

3.4 Cr - Mn - N 系不锈钢

Cr - Mn - N 系不锈钢是一种节镍型的奥氏体不锈钢,如 03Cr13Ni5Mn19 (可用于 - 253)、07Cr21Mn7Ni5N (可用于 - 269) 等。与 Cr - Ni 奥氏体不锈钢不同, Cr - Mn - N 不锈钢在低温下有韧性 - 脆性转变现象。这是由于钢中含有 Mn,在低温时形成大量层错,阻碍位错相交而造成的。通常超低温阀门用材很少采用 Cr - Mn - N 系不锈

钢。

4 工艺处理

4.1 固溶处理

固溶处理是奥氏体不锈钢的基本热处理方法,是防止晶间腐蚀的重要手段。而作为超低温阀门使用的奥氏体不锈钢,固溶处理的目的是为了碳化物充分溶解,提高其抗脆性能力,从而可以在更低的温度下安全使用。对于含 Ti、Nb 的稳定化奥氏体不锈钢,固溶处理主要是为得到较均匀的成分和组织,保证其良好的韧性和塑性。对于铸件,固溶处理可使其在凝固过程中所产生的偏析得以改善,使组织接近均匀。

此外,奥氏体不锈钢在焊接时,其热影响区由于碳化物析出及铁素体生成,会明显降低材料的低温韧性。因此,焊后亦应进行固溶处理,以恢复其低温韧性。

4.2 深冷处理

大部分 Cr - Ni 奥氏体不锈钢在常温下处于亚稳定状态,而在超低温范围内会因晶格畸变而发生马氏体转变。马氏体开始转变时的温度即为马氏体转变点 (亦称相变点),用符号 M_s 来表示。 M_s 点的温度主要取决于固溶在奥氏体内合金元素的量。

当奥氏体不锈钢的工作温度等于或低于其马氏体转变点 M_s 时,就会发生马氏体转变。因马氏体的比容比奥氏体的大,由此而引起的体积膨胀和组织应力会使零件尺寸发生变化,最终导致阀门泄漏。为防止材料在使用过程中发生马氏体转变,需对其进行深冷处理。

深冷处理是将奥氏体不锈钢材料浸在冷却剂中进行冷却、保冷,使之发生马氏体转变的一种工艺

方法。深冷处理可使材料预先进行马氏体转变，以保证在使用中的组织稳定性。深冷处理一般在零件的精加工之前进行。深冷处理的温度应以材料的 M_s 点为依据。材料不同， M_s 点各异。即使是同一牌号的材料，由于批次（或炉号）的不同，其 M_s 点也各不相同，而且差别很大。有的在超低温范围的上限附近即可产生马氏体转变。

马氏体的转变量随温度的降低而增加，为确保工件在使用过程中的组织稳定性，深冷处理所用介质的温度需等于或低于阀门工作温度。深冷处理的冷却介质多采用液氮或液氦等溶液。可根据阀门使用温度来确定。浸在深冷介质中的零件达到介质温度（介质表面所冒气泡完全消失）时，即可计算保冷时间。根据实践经验，保冷 1~2h 即能达到处理目的。时间过长，对马氏体的转变无明显影响。保冷结束即可将零件取出在空气中放冷至常温。

经过一次深冷处理后，奥氏体不锈钢的马氏体转变基本完成，一般情况下可以满足使用要求。对于密封性要求较严或靠介质压力密封的超低温止回阀，可增加深冷处理的次数。

5 结语

奥氏体不锈钢是理想的超低温阀门用钢，尤其是在 -196 以下，奥氏体不锈钢几乎是唯一可以选用的超低温阀门用钢。为避免在使用过程中发生马氏体转变，建议在设计时选择奥氏体组织更加稳定的不锈钢。对于亚稳型不锈钢，应采用深冷处理使其预先完成马氏体转变，以达到使用中的组织稳定。

参 考 文 献

- [1] 达道安. 空间低温技术 [M]. 北京: 宇航出版社, 1991.
- [2] 杨瑞成, 邓文怀, 冯辉鑫. 工程设计中材料选择与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [3] 高宗仁. 简明不锈钢使用手册 [M]. 太原: 山西科技出版社, 2003.
- [4] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983.
- [5] 陈国邦. 低温下奥氏体不锈钢的马氏体转变 [J]. 低温工程, 1992 (1).
- [6] 都丸久男著, 张文治译. 日本阀门铸件的现状和问题 [J]. 阀门, 1984 (3).
- [7] ASTM A182/A182M - 2005. 高温用锻制或轧制合金钢法兰、锻制管件、阀门和部件 [S].

(收稿日期: 2007. 12. 28)

(上接第 12 页)

Q_T —— 阀杆与填料的摩擦力, N

$$Q_T = d_F b_T p$$

d_F —— 阀杆直径, mm

M_2 —— 各较轴间的摩擦力矩, N·m

因 M_2 在总力矩中所占比例很小, 可以忽略。

5 结语

五杆式偏摆连杆结构蝶阀解决了蝶阀在高温状况下出现的因热胀而卡死的现象。有效地解决了蝶阀在高温下的密封问题。随着新材料、新工艺和新结构不断发展, 该阀将在冶金、石化等行业的高温管道上发挥其更大的作用。

参 考 文 献

- [1] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 洪勉成, 等. 阀门设计计算手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1994.

(收稿日期: 2007. 12. 27)

(上接第 14 页)

$$n_1 = n + 2$$

弹簧自由高度 H_0 为

$$H_0 = nt + 1.5 d_0$$

式中 t —— 弹簧节距, mm

5 结语

液控止回蝶阀采用了升降式重锤结构和机械电磁联合锁定机构后减少了安装空间, 阀门结构紧凑, 安装维护方便。阀门开启后, 仅一个电磁铁供电, 电流消耗很小。油泵和电磁阀等液压元件无需频繁动作, 延长了使用寿命。该阀不仅具有止回阀的功能, 能消除水锤保护水泵及管网系统安全, 而且具有蝶阀（或闸阀）的功能, 能将管道介质完全截断, 降低了各种成本和运行费用。当公称尺寸 > DN1 400 时更能体现出其良好的性能和优点。

参 考 文 献

- [1] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 陆培文. 阀门选用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

(收稿日期: 2007. 09. 27)