

化工设备设计手册

(四)-3

普通低合金鋼設備

庫存

化工部化工设备设计专业技术中心编

内 容 提 要

本手册系化工机械及设备设计人员现场设计时用，也可作为广大化工设备制造工人、工程技术人员及化工机械设备专业师生参考。

本部份为普通低合金钢设备，介绍了普通低合金钢分类，化工、石油设备用钢基本要求，材料选用，强度计算，结构设计，设备零部件标准，制造工艺过程与要求及 16Mn、15MnV、15MnTi、14MnMoVB、14MnMoV、18MnMoNb、14CrMnMoVB、低温用钢、40MnB 等典型钢材的材料、制造性能。附录部分还列入了有关钢材标准。

化工设备设计手册(四)-3 普通低合金钢设备

化工部化工设备设计技术中心所编

(上海南京西路 1856 号)

内 部 发 行

*

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{18}$ ·印张 $12\frac{2}{9}$

1969 年 4 月 上海

定价：1.20 元

最高指示

这次无产阶级文化大革命，对于巩固无产阶级专政，防止资本主义复辟，建设社会主义，是完全必要的，是非常及时的。

从旧学校培养的学生，多数或大多数是能够同工农兵结合的，有些人并有所发明、创造，不过要在正确路线领导之下，由工农兵给他们以再教育，彻底改变旧思想。这样的知识分子，工农兵是欢迎的。

广大干部下放劳动，这对干部是一种重新学习的极好机会，除老弱病残者外都应这样做。在职干部也应分批下放劳动。

历史的经验值得注意。一个路线，一种观点，要经常讲，反复讲。只给少数人讲不行，要使广大革命群众都知道。

序

为了更好地配合化工设备设计人员进行现场设计,根据 化工部化工设备设计技术中心站第四届会议对 1967~1968 年业务建设项目的安排,由本站组织各单位,共同编制化工设备设计手册。

伟大的领袖毛主席教导我们:“学习有两种态度。一种是教条主义的态度,不管我国情况,适用的和不适用的,一起搬来。这种态度不好。另一种态度,学习的时候用脑筋想一下,学那些和我国情况相适合的东西,即吸取对我们有益的经验,我们需要的是这样一种态度。”遵循这个教导,化工设备设计手册的编制从化工机械设备专业实际需要出发,按照简明、实用和推荐的原则进行,尽可能把常用的内容汇编进去。

化工设备设计手册共分四部分:(一)材料;(二)机械零件;(三)机械传动;(四)设备设计。

本手册为化工设备设计手册(四)设备设计中的第三部分——普通低合金钢设备,由化工部第一、二、三、四、八设计院,石油部北京设计院、抚顺设计院,锦西化工机械厂,上海化工研究院,兰州化工机械研究所及上海医药工业设计院共同编制。

对本手册内容作以下几点说明:

一、手册根据伟大领袖毛主席对钢铁工业革命的英明指示精神和关于“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针,从我国资源情况、目前冶金工业低合金钢发展方向及化工、炼油设备发展需要出发进行编制。

二、普通低合金钢在我国的发展历史尚短,尤其在化工、炼油设备中应用的历史仅有几年,但它已显示出无限的优越性。普通低合金钢的设计、制造、使用经验尚很缺乏,有关的总结资料很少,在许多问题上还存在着不同的看法。我们本着边实践,边总结的原则进行编写,手册中提出的一些观点可能与实际生产有所出入,希有关方面积极提出批评意见,以利于及时修改。

三、本手册“材料”部分所列的“化工、石油设备用钢基本要求”,根据容器用钢的需要,对各种类型的钢材提出一些基本要求,供设备设计、制造部门及机械、冶金方面有关部门作为选用新钢种及试制、试用新钢材时的参考。

四、第二章“设计”的编写内容主要为:

1. 对原三部标准——化工、石油设备零部件标准 (TH3001-59~TH3008-59 及 JB 576~600-64 的内容进行“低合金钢化”,以替代原仅适用于碳钢的设备零部件标准。设备法兰标准此处系为国标报批草案,供设计时参考,定稿后应以正式批准的标准为准。

2. 按照低合金钢的特点对化工部“钢制化工容器设计规定”(试行)作了补充(应力集中系数、爆破压力估算及节点结构),对卧式容器等计算繁复的部分列成了壁厚表,以备设计时查用。

五、“制造”部分中对预热,焊后消除应力处理,十字焊缝,酸性焊条,探伤等施

工、检验环节提出一些要求，供设计、施工人员参考，但并不意味着作为硬性的技术规定。

六、第四章中列入的典型钢号性能系根据有关资料汇编而成。由于各单位试验结果不一，故依照前后连贯、统一的原则有所取舍。列入的钢号一般是较为成熟的钢号，但也有考虑到容器用钢发展需要的新钢种，如 14MnMoV、18MnMoNb 等。

由于编制人员接触低合金钢工作的时间不长，缺少生产斗争和科学实践的经验，加上编制的时间比较紧促，进行调查的地区有限，收集的资料也不多，因而在内容上一定存在不少缺点和错误。衷心希望同志们对本手册内容提出批评指正，并提供数据和资料，以利于今后修改和补充。

化工部化工设备设计技术中心站

一九六八年十二月

目 录

第一章 材 料

一、概述	1
二、普通低合金钢分类	2
1. 按合金元素分类	2
2. 按屈服强度分类	4
3. 按金属组织分类	5
三、化工、石油设备用钢基本要求	5
1. 压力容器用钢板	5
2. 压力容器用钢板的缺陷	9
3. 中、高温设备用钢	12
4. 低温设备用钢	14
5. 锻件	16
6. 铸件	21
四、材料选用	24
1. 材料选用原则	24
2. 板材	25
3. 锻件	27
4. 铸件	28
5. 钢管	29

第二章 设 计

一、材料许用应力	30
二、公称压力换算表	31
三、内压圆筒及封头	32
1. 内压圆筒	32
2. 标准椭圆形封头	33
3. 折边锥形封头 ($2\alpha = 60^\circ$)	34
4. 内压圆筒及椭圆形封头计算图表	34
5. 爆破压力估算	37
6. 筒体及封头的重量、容积、表面积计算表	38
7. 容器纵、环焊缝对接接头型式	43
8. 球形容器参数系列 (JB1118-68)	45

四、外压圆筒及封头	45
1. 高强度钢在外压容器中的应用	45
2. 符号说明	46
3. 计算步骤	46
五、开孔加强及应力集中系数估算	49
1. 开孔加强	49
2. 应力集中系数估算	49
3. 接管及开孔加强结构	52
六、透镜式膨胀节 (JB1121-68)	58
七、卧式容器及其支座	58
1. 双支座卧式容器	58
2. 卧式容器用鞍式支座 (HG5-13-68)	62
八、设备法兰	64
1. 设备法兰分类及使用范围	64
2. 各级温度下允许工作压力	65
3. 甲型平焊法兰	66
4. 乙型平焊法兰	69
5. 长颈对焊法兰	71
6. 法兰用垫片	74
7. 法兰与筒体的焊接结构型式	80
九、标准人、手孔及视镜的升压使用	81
1. 使用方法	82
2. 长圆形回转盖快开人孔 (JB579-64)	83
3. 回转盖人孔 (JB580-64)	84
4. 回转盖快开人孔 (JB581-64)	85
5. 垂直吊盖人孔 (JB582-64)	86
6. 水平吊盖人孔 (JB583-64)	87
7. 回转盖对焊法兰人孔 (JB584-64)	88
8. 水平吊盖对焊法兰人孔 (JB585-64)	89
9. 回转盖快开手孔 (JB587-64)	90
10. 平盖手孔 (JB589-64)	91
11. 平盖对焊法兰手孔 (JB591-64)	92
12. 回转盖对焊法兰手孔 (JB592-64)	93
13. 带颈视镜 (JB595-64)	93
14. 标准人、手孔及视镜的升压说明	94
十、其他结构	95
1. 管板(兼作法兰)与筒体焊接结构	95
2. 平封头(不作法兰的管板)结构	96

第三章 制 造

一、低合金高强度钢的焊接性能	97
1. 焊接硬化	97
2. 裂纹敏感性	98
3. 热脆化	98
二、可焊性试验	99
1. 国际焊接协会 (I.I.W) 最高硬度试验	99
2. 小铁研式试验	100
3. 窗形拘束对接裂纹试验	100
4. H形裂纹试验	101
5. 改进的 C.T.S. 试验	101
6. 巴顿对接拘束法	101
三、焊接工艺	102
1. 焊接方法的考虑	102
2. 低合金高强度钢焊条分类及性能 (GB980-67、GB981-67)	102
3. 焊接材料的选择	104
4. 其他	104
四、焊前预热	105
1. 预热的作用	105
2. 预热的确定	105
3. 预热方法	106
五、焊后消除应力处理	106
1. 焊后热处理的作用及其方法	106
2. 根据钢种及厚度提出的焊后热处理要求	107
3. 改善接头焊后状态的其他途径	107
六、焊后消除应力热处理工艺	108
1. 整体消除应力热处理	108
2. 分段消除应力热处理	109
3. 局部消除应力热处理	109
4. 低温消除应力处理	109
七、焊接缺陷检验	110
1. 焊接缺陷及其生成原因	110
2. 焊接缺陷对强度的影响	111
3. 缺陷检查方法	112
4. 射线探伤	112
5. 焊缝超声波探伤	115
八、冷、热加工	118

1. 高强度钢冷加工中应注意的问题	118
2. 卷轧加工	119
3. 边缘加工	120
4. 热压成型	120
九、热处理	120
1. 正火	121
2. 回火	121
3. 消除应力热处理	121
4. 软化退火	122
5. 调质(淬火+回火)	122

第四章 典型钢种性能

A. 16 锰	123
B. 15 锰钒	140
C. 15 锰钛	154
D. 14 锰钼钒硼稀土	162
E. 14 锰钼钒	172
F. 18 锰钼铌	178
G. 14 铬锰钼钒硼	184
H. 低温用钢(09 锰 2 钒, 09 锰铜钛稀土)	194
I. 40 锰硼	198

附 录

一、关于安全系数的说明	203
二、普通低合金钢钢材规格	205
三、普通低合金结构钢钢号和一般技术条件(YB13-69)	206

第一章 材 料

一、概 述

普通低合金钢是指在普通碳素钢基础上添加少量的合金元素，以提高强度、耐腐蚀性、耐磨性或韧性，并便于大量生产和应用的钢种。

我国钢铁工业广大革命职工高举战无不胜的毛泽东思想伟大红旗，遵循毛主席的伟大教导：“我们是主张自力更生的。我们希望有外援，但是我们不能依赖它，我们依靠自己的努力，依靠全体军民的创造力。”发扬自力更生、艰苦奋斗的革命精神，解放思想，大破洋框框，根据国内资源和使用要求大力发展普通低合金钢。我国普通低合金钢从1957年开始试制16Mn钢以来，在短短的十一年中定型生产的普通低合金钢已达廿四种，试制、研究的钢种在几十种以上，其产量逐年急剧地增长，产品质量也有很大提高。尤其是从1966年开展史无前例的无产阶级文化大革命以来，在毛主席的“抓革命、促生产”的伟大号召下，普通低合金钢生产研究和品种产量的发展速度之快，更是国外任何一个国家所望尘莫及的。正如毛主席教导的：“我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化强国。”现在钢铁部门广大革命职工正在为建立我国自己的普通低合金钢系统，为开辟一条多快好省地发展我国钢铁工业的道路而奋斗。

我国具有大量的含铜、钒、钛、铌和稀土等元素的共生铁矿，以及锰、硅、钼和硼等丰富资源，这是创立我国普通低合金钢系统的良好条件，也是符合毛主席提出的“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针，现有锰-硅系钢种在性能和资源利用上已经不能满足要求，产量亦供不应求，为此必须改变目前普通低合金钢以锰为主的状况。根据我国资源的特点大力发展含Ti、B、Nb、Re、V等微量元素的低合金高强度钢，综合利用Cu、P等共生元素，合理使用Mo、W、Al等较贵重的元素，冲破国外帝修反的那一套发展低合金钢必须含铬、镍的洋框框，创出我国独特的低合金钢体系来。

当前各钢厂根据资源情况，因地制宜，各具特色地大力发展普通低合金钢，如武钢发展含铜钢，西南地区发展锰钛钢，华北地区发展铌钢，稀土钢等等。

普通低合金钢与普通碳素钢相比具有一系列优点，用于建设可节约钢材，提高负荷能力，延长寿命，满足一些特殊要求，显示出它巨大的政治和经济效果。目前普通低合金钢已广泛应用于铁路、汽车、桥梁、水电、化工、石油、电讯和船舶等方面。

普通低合金钢在化工、石油机械和设备方面的使用情况：

① 我国高压容器自1958年采用16Mn钢制造以来，现已基本上全部采用普通低合金钢，大量地节省钢材和成本，提高了制造水平。如南京化工机械厂和上海锅炉厂分别用15MnTi制造 $\phi 1000 \times 18000$ mm的副产蒸汽合成塔，和用20g锅炉钢板相比，壁厚由

原 书 缺 页

加钒含量还可以提高钢的高温强度。锰钒钢在采用适当热处理(正火或退火)后,晶粒细化,亦可显著提高轧制状态的韧性和降低脆性转变温度。加热温度对锰钒钢性能影响比较大,加热温度选择得不合理往往使锰钒钢强度下降很多,因此锰钒钢在热处理和热冲压时必须选择合理加热制度(出炉温度)和严格控制加热温度。铜在锰钒钢中作用同锰-硅-(铜)系统。

(3) 锰-钛-(铜)系: 有15MnTi、15MnTiCu,含钛量为0.12~0.20%,锰钛钢是以正火状态供货,薄板可以高温回火或热轧供货。钛是一种强烈的脱氧剂,它能和钢中的碳和氮形成稳定的碳化物和氮化物,这些高度弥散的质点(碳化钛、氮化钛)成为液态钢凝固过程中结晶核心,大大细化了晶粒,改善钢的组织,提高强度。添加钛还可以阻止加热时锰钢晶粒过度长大的倾向,并有脱硫作用和减弱钢在焊接过程中空气淬硬倾向,所以能改善钢的焊接性能。钛还能显著提高锰钢疲劳极限。钛是使脆性转变温度降低的元素。锰钛钢在热轧状态下虽有很高强度,但韧性和塑性都较低,尤以厚板更为显著,但经正火后溶解于固体中的钛析出,同时弥散质点的聚集,促使锰钛钢韧性和塑性显著提高。铜在锰钛钢中的作用同锰-硅-(铜)系统。

(4) 锰-铜-磷-钛系: 有09MnCuPTi,是抗大气及海水腐蚀用钢。磷与铜在钢中同时存在可显著提高钢的抗大气腐蚀能力,为一般碳钢抗大气及海水腐蚀能力的4~6倍。磷是仅次于碳,对钢强化作用比其他合金元素都大的元素,磷能大大提高钢的强度和屈强比。磷的最大缺点是提高脆性转变温度,韧性大大恶化,但是在锰磷钢中再加入铜则韧性提高,其原因是因为铜能降低磷在 α 铁中的溶解度,析出的脆性固体磷化铁已经不是沿着晶界分布,而是以与钢的基本组织相结合的微粒存在,磷的这种分布导致强度的提高,而不降低韧性和塑性。同时由于锰铜磷钛钢中含碳量较低,一般不超过0.12%,加之钛细化晶粒,降低脆性转变温度,因此锰铜磷钛钢韧性和塑性都较好。铜磷钢的缺点是在热成形时,易形成细小裂纹倾向,因此在弯板时对加热温度必须严格控制。

(5) 锰-铌系: 有14MnNb、14MnNb_b、18Nb_b等,前两种是镇静钢,后二种是半镇静钢,都是以热轧供货。含铌0.01~0.03%的锰铌钢在热轧状态下屈服强度可提高8~10 kg/mm²,其他性能也均有所提高。这是由于在锰铌钢中,碳化铌以极细的弥散质点阻碍奥氏体晶粒长大,因此冷却后得到了细晶粒铁素体,加之碳化铌本身也弥散于铁素体晶间,强化铁素体。铌能提高钢的热强性,铌碳比越高,蠕变强度亦提高。锰铌钢焊接性能良好,铌对韧性有不利作用,但只要使钢板在热轧时控制适宜的较低终轧温度,则能获得细晶粒,具有良好的韧性。14MnNb、16MnNb这两种钢屈服强度为40 kg/mm²级,而含锰量和含碳量都分别比16Mn和15MnTi等有所降低,这样不仅能节省锰,而且对钢的焊接性能也有所改善。

18Nb_b及14MnNb_b二种铌半镇静钢是符合多快好省方针的半镇静低合金钢,其金属收得率高(比镇静钢提高10%以上),脱氧剂、合金元素消耗少,利用了沸腾钢的浇注设备,钢锭质量与镇静钢相近。18Nb_b系在A3钢化学成份基础上,采用“外沸内镇”方法,在钢中加入微量铌,而使钢的屈服强度达到30 kg/mm²级,并保持了A3钢的良好可焊性。14MnNb_b系在18Nb_b基础上,增加锰含量(至1.20%)使屈服强度达到40 kg/mm²,且具有良好可焊性。

半镇静钢从其性能及成本上来看,适于在化工、炼油设备的一般压力容器中大量推广使用。

目前试生产的锰铌钢及含铌半镇静钢主要问题是冲击韧性尚不够稳定。

目前试生产的几个铌钢的化学成份及机械性能

表 1-1

钢 号	化 学 成 份 (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Nb
18Nb	0.14~0.22	≤0.17	0.4~0.65	≤0.050	≤0.050	0.015~0.04
14MnNb	0.12~0.18	≤0.17	0.8~1.20	≤0.050	≤0.050	0.015~0.04
14MnNb	≤0.20	≤0.60	0.8~1.20	≤0.050	≤0.050	0.015~0.04
16MnNb	≤0.20	≤0.60	1.0~1.40	≤0.050	≤0.050	0.015~0.04

钢 号	厚 度	机 械 性 能 (不小于)					
	mm	σ_b kg/mm ²	σ_s kg/mm ²	δ_5 %	冷弯180°	常温 α_k kg-m/cm ²	-40℃ α_k kg-m/cm ²
18Nb	≤16	46	30	24	$d=2a$	6	—
14MnNb	6~20	50	35	21	$d=2a$	6	3
14MnNb	≤16	50	36	20	$d=2a$	6	3
	$\phi 17\sim 25$	48	34	18	$d=3a$	6	3
16MnNb	≤16	54	40	19	$d=2a$	6	3
	17~20	52	38	18	$d=3a$	6	3

(6) 钼-硼系: 有 14MnMoVB、14CrMnMoVB 等钢种, 含钼量为 0.3~0.6%, 含硼量为 0.002~0.006%。这类钢种以钼硼为基而获得低碳上贝茵体组织, 一般应进行正火加回火热处理而获得良好的综合机械性能。低碳钼硼贝茵体钢强度较高, 可焊性良好, 是我国目前强度级较高的普通低合金钢 (屈服强度最低为 45 kg/mm², 高的可达 70~80 kg/mm²)。由于结合我国钼硼资源, 高温性能又好, 对于热处理要求也不高, 因此是较好的中温或高压容器用钢。强度较高的普通低合金钢 (抗拉强度在 60kg/mm² 以上) 往往添加钼, 钼对提高屈服强度有卓越成效, 特别是有利于提高高温强度 (抗蠕变和持久强度) 加入少量钼还可以消除钢的热脆性, 回火脆性和防止渗碳体球状化现象, 硼的少量加入可大为提高钢抗蠕变能力、持久强度和淬透性, 也能提高高温塑性。

综上所述, 我国普通低合金钢目前生产情况可归纳成以下几点:

- ① 在含碳量方面属于低碳, 含碳量一般小于 0.20%;
- ② 在合金方面一元钢和二元钢占有较大的比重;
- ③ 在供货状态方面多为热轧状态交货;
- ④ 不少钢种加入稀土元素以提高综合性能;
- ⑤ 大部分普通低合金钢是属于铁素体+珠光体型的。

2. 按屈服强度分类

- (1) 30kg/mm² 级: 08MnV、09Mn2、09Mn2Cu、18Nb;
- (2) 35kg/mm² 级: 16Mn、16MnCu、14MnNb、09Mn2Si、08MnPre、09MnCuPTi、09Mn2V;

- (3) 40kg/mm² 级: 15MnV、15MnTi、15MnVCu、15MnTiCu、14MnNb、16MnNb;
 (4) 45kg/mm² 级: 15MnVN、14MnTiVRe;
 (5) 50kg/mm² 级: 14MnMoV、14MnMoVB、18MnMoNb;
 (6) 65~70kg/mm² 级: 14CrMnMoVB。

3. 按金属组织分类

(1) 铁素体+珠光体: 目前大部分普通低合金钢都是属于这种类型, 一般是以热轧供货, 屈服强度 $\sigma_s = 35 \sim 50 \text{ kg/mm}^2$, 其显微组织由多边形铁素体晶粒和少量珠光体组成。改变这两种组成物的性质, 或者改变这两种组成物之间的相对比例, 都可使组织强化, 从而提高这类钢的强度。

(2) 贝茵体: 是利用硼和钼阻止奥氏体向铁素体转变, 得到贝茵体组织的钢。这类钢一般需要热处理, 但热处理要求还是比较简单的。贝茵体钢含碳量比较低, 具有较高的强度, 屈服强度 $\sigma_s = 45 \sim 80 \text{ kg/mm}^2$, 塑性和韧性也很好, 由于加入钼和硼高温性能也比一般普通低合金钢来得好。目前我们所生产的贝茵体钢基本上都属于上贝茵体组织。由于贝茵体钢强度较高, 焊接性能良好, 因此已被用在强度要求高的高压容器上, 并且还被采用在大型锻件上。

(3) 马氏体: 这是强度最高的普通低合金钢, $\sigma_s = 70 \sim 100 \text{ kg/mm}^2$ 。这类钢需要进行调质热处理, 通过热处理后才能得到高的强度, 并具有良好的塑性和韧性。通过焊接试验也表明这类钢可焊性良好, 因此马氏体普通低合金钢是很有发展前途的钢种。它随着高压容器向大直径、高压发展, 将会被大量采用, 并显示出它的优越性。

三、化工、石油设备用钢基本要求

1. 压力容器用钢板

钢板是化工、石油设备中用途最广, 用量最大的钢材, 是承受容器薄膜主应力的主要材料。近年来冶金部门发展的低合金高强度钢, 品种多数是板材。

(1) 强度: 强度包括屈服强度 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$)、抗拉强度 σ_b 及屈强比 σ_s/σ_b 。

屈服强度、抗拉强度是直接用于设备强度计算的数据。普通低合金钢最明显的特征是强度较普通碳钢有较大提高。根据化工部“钢制化工容器设计规定”(试用)及本手册的规定, 屈服强度及抗拉强度都直接用来决定钢材的许用应力值, (详见附录五“关于安全系数的说明”一节)。

低合金高强度钢在强度提高的同时, 一般其塑性及加工、焊接性能有所降低, 因此应根据设备的具体操作条件(压力、温度、壁厚)及施工条件来选用适当强度级别的钢材。根据目前钢材供应及制造情况, 可按下述条件来选用各强度级别的钢种:

一般的中、低压容器采用屈服强度为 35kg/mm² 及 30kg/mm² 级钢材及半镇静钢, 如 16Mn、16MnCu、14MnNb、18Nb 等。

直径较大(如大型球罐及容器)压力参数较高的中压容器采用屈服强度为 40kg/mm²

级的钢材, 如 15MnV、15MnTi 等。

高压容器采用屈服强度为 50 kg/mm² 级钢材, 如 14MnMoV、14MnMoVB 等, 特殊情况下采用屈服强度为 50 kg/mm² 以上的钢材, 如 14CrMnMoVB。

屈强比未直接用于容器的强度设计, 随着材料屈强比的提高, 材料的承载能力有所上升但其塑性储备、对应力集中的敏感性、耐疲劳抗力都有所降低。这样势必要求设备的设计中对应力状态的估计(局部应力、二次应力、峰值应力)及结构细节更为完善, 制造过程中对加工技术的要求更高(避免加工硬化、裂纹敏感性及残余应力)。所以应根据设计、制造的具体情况来对选用材料的屈强比加以一定限制。根据目前情况, 对屈强比大于 0.70 的钢材就应在设计、制造中加以重视, 对屈强比大于 0.80~0.85 的钢材应予以特殊的考虑。

(2) 塑性: 塑性的典型指标是延伸率 δ_5 , 对于厚度为 6mm 以下板材也可用 δ_{10} , 一般 $\delta_5 = 1.2\delta_{10}$ 。

延伸率由均匀延伸率 δ_{uj} 及缩颈延伸率 δ_{nj} 所组成, 均匀延伸率是在试样应力到达抗拉强度时的延伸率。缩颈延伸率是在试样应力到达抗拉强度后, 在断裂点附近因局部断面收缩而产生的延伸率。 δ_5 、 δ_{uj} 、 δ_{nj} 都可由一般的拉力试验机上作图测得, 国外曾对不同强度级别钢材的测定获得 δ_5 、 δ_{nj} 、 δ_{uj} 的关系如下:

$$\delta_5 = \delta_{uj} + 10\% \quad \text{亦即} \quad \delta_{nj} = 10\%$$

一般看来, 压力容器用钢的强度增加时, 均匀延伸的能力降低而局部颈缩能力变化很小。化工、石油受压设备使用时要求的塑性量没有明确的规定, 所要求的塑性与要求防止的破坏形式, 应力集中大小以及双向应力或三向应力程度有关。

对于压力容器用钢板, 其相对于承受薄膜应力的有效塑性仅限于钢材的均匀延伸率。能有效地吸收局部应力, 二次应力及应力集中(峰值应力)的材料塑性是钢材总延伸率, 同时延伸率与制造过程中的冷加工程度亦有密切关系。

从压力容器本身工作条件所产生的变形量来说, 一般钢材的延伸率是足够的, 但必须考虑到以下因素:

① 材料由于冷作(冷卷、锤击、剪切), 焊接或其他原因而引起延伸率的降低往往是不可估量的。国内对 15MnV、14CrMnMoVB 钢板均发现过由剪边裂纹而引起的弯卷过程中的脆断现象。

② 容器受力过程中的应力状态并非是如拉伸试验中的单向应力, 而为双向或三向拉伸, 因此降低了材料的塑性储备安全性。

为此, 容器用钢板要求的延伸率 δ_5 不得低于 14%。对延伸率 δ_5 低于 18% 的钢材, 在加工、制造中应予特别重视。

(3) 冲击韧性: 冲击韧性是衡量钢材对脆性破裂抗力的一种指标, 低合金高强度钢由于合金元素的加入, 强度提高, 而其韧性则与组织状态, 热处理情况等许多因素有关, 不能一概而论。工程上对钢材脆性转变温度往往通过常规的梅氏冲击试验或却贝冲击试验来判定。

对于低合金高强度钢而言, 由于使用状态应力水平提高, 母材对应力集中及裂纹的敏感性较大所以更有必要测定材料在各种加工使用状态下的冲击韧性, 并根据不同温度

下的冲击韧性的变化,描绘出钢材的脆性转变曲线,供设计选材时参考。

必须注意,钢材的冲击韧性与许多因素有关,主要有如下几项:

- ① 轧态或各种可能的热处理状态;
- ② 板材的纵横向差别;
- ③ 不同程度的冷变形,冷加工;
- ④ 焊接热循环;
- ⑤ 板材厚度。

在测定钢材冲击韧性的同时,可同时记录其断口塑性破断面积的百分率及缺口截面的横向膨胀率。

容器的脆性破坏并非仅仅在低温状态下才发生的,它与母材的脆性转变温度、缺口、加工状况及载荷等等因素有关。所以应当根据产品的设计参数,结构及施工条件来确定对其冲击韧性的要求。同时,设备制造过程对钢材韧性也有一定要求,一般要求常温冲击韧性不低于 $5 \sim 6 \text{ kg-m/cm}^2$ 。对这一点在选用钢材时应有所考虑(但不一定作为验收项目)。

一般情况下,我国习惯以梅氏试样 3.5 kg-m/cm^2 (温度在 -40°C 以上) 及 V 形缺口却贝试样 2.6 kg-m/cm^2 (亦即 15 呎-磅,温度在 -40°C 以下),作为容器在设计温度下对缺口韧性的要求指标。但上述指标并不意味着钢材具有了这样的冲击韧性就能避免脆性破坏。

除了小型的梅氏,却贝冲击试验,在必要情况下可采用其他较大型的低温冲击试验,如 NDT (无塑性转变温度) 落锤试验法等。

对于防止材料及容器脆性破坏的具体要求可详见“低温设备用钢”一节。

(4) 冷弯: 弯曲试验是用以考核材料承受弯曲变形的能力并显示其缺陷,是设备制造过程中必须了解的指标。

冷弯指标亦是材料塑性的间接反映,目前冶金部有关标准所列的各强度级别钢材的冷弯指标,合理地考虑了强度对冷弯性能的影响,同时为了保持冷弯过程中一定的表面纤维延伸,故对不同板厚的钢材规定了不同板厚倍数的弯芯直径(如 $d=2a, d=3a$)。

目前冶金部标准中对冷弯的一般规定值如表 1-2。

表 1-2

屈服强度 kg/mm^2	厚度 mm	冷弯 180° 的弯芯直径
25	—	$d=2a$
30	—	$d=2a$
35	≤ 16	$d=2a$
	> 16	$d=3a$
40, 50, 65	—	$d=3a$

制造加工中对钢材冷弯性能的考核亦有采用其他的冷弯试验方法:

① $b=5a$ 的宽冷弯试验: b 为试板宽度, a 为试板厚度,弯芯直径与窄冷弯时的弯芯相同。如正火状态的 15MnTi 就能通过 $b=5a, d=2a$ 冷弯 120° 不裂, 180° 不断的指标(用于造船工业)。

② 压弯曲试验: 根据产品可能的最小弯曲半径确定压头直径,切取 $200 \times 400 \times$ 厚度的试样(其板边状况可根据制造工艺需要,采用气割、剪切、机械切削、表面打磨等

状态) 在油压机上反复压弯, 以观察出现裂纹的情况及弯角。

(5) **缺口敏感性:** 缺口敏感性试验是为了了解当材料在带有一定的应力集中的缺口条件下, 其抵抗裂缝扩展的倾向和能力的大小。它是属于材料韧性的范畴, 它和带有尖缺口的冲击韧性试验不同, 前者是属于静载荷的抗裂缝扩展性能, 而后者是属于动载荷下的性能。

低合金高强度钢容器结构的应力集中及施工过程中可能引起的脆断现象都有必要对钢材的缺口敏感性加以测量。缺口敏感性试验一般用于新钢种的性能测定。

缺口敏感性试验方法如下:

① 试样:

取样垂直于钢板轧制方向, 缺口开槽应垂直于钢板轧制面, 试样尺寸 $10 \times 10 \times 55\text{mm}$ 带有 60° 角的“V”形缺口, 其深度 2mm , 底角圆弧半径 $r = 0.2 \sim 0.3\text{mm}$, 如图 1-1 所示。

② 试验方法:

试验机采用带自动记录仪器的小负荷油压试验机, 压模形式如图 1-2 所示。可根据需要将试样于

低温保温后加载。试验时必须绘出完整的载荷—挠度曲线, 加载速度在裂缝产生前为每分钟 3mm 。

③ 结果评定:

试样弯曲到最大负荷时出现裂缝, 然后负荷下降, 根据此“陡降”的程度来评定钢材的缺口敏感性。一般认为陡降部分不超过最大载荷纵距的 $\frac{1}{3}$ 时, 则认为合格。典型的特征曲线如图 1-3 所示, 其中 a、b、c 为合格, d、e 为不合格。

试验温度可根据材料性能及设计要求进行系列的温度试验。

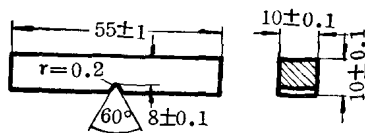


图 1-1 缺口敏感性试样

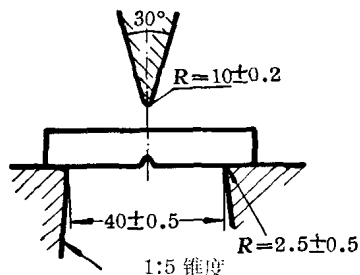


图 1-2 压模图

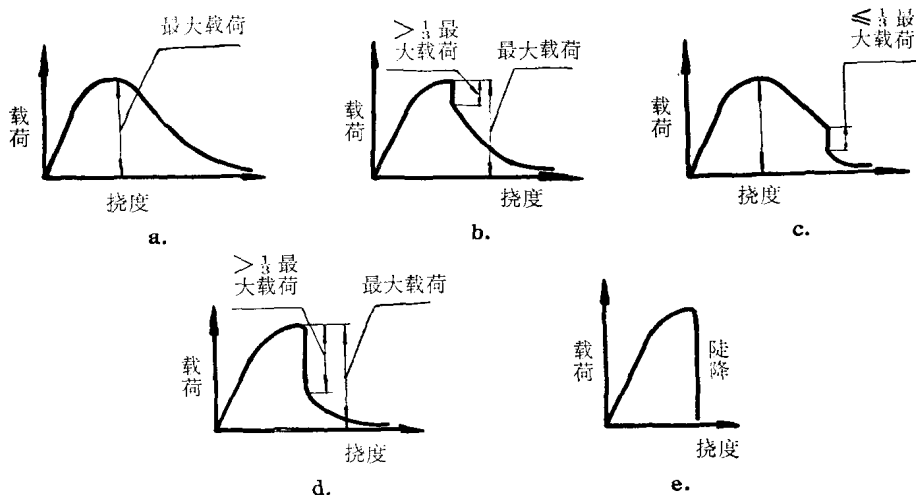


图 1-3 缺口敏感性试验特征曲线类型