

JB/T 4734—2002

《铝制焊接容器》

标 准 释 义

前 言

铝在地壳外层约 16km 范围内占有 7.5%, 储量比铁(占 4.7%)多, 比其他有色金属的总和还多。世界上精铝的年生产能力约为 3000 万吨, 仅次于钢。从金属应用的数量和重要性来看, 铝仅次于钢铁号称第二金属。铝容器也在继钢容器之后受到各国重视, 美、日、俄、德、英、法等国均有铝制压力容器的标准, 其中德、英、法的压力容器标准中除钢容器外, 只列了铝容器的内容, 而且没有列入其他有色金属容器的内容(法国标准对钛、铜、镍容器只提到安全系数等少量内容, 德国 AD 规范中也仅提到铜的安全系数), 这说明了铝容器的技术成熟程度和对铝容器的重视程度。我国在发布 JB 741—80《钢制焊接压力容器技术条件》之前就已制定了 JB 1580—75《铝制焊接容器技术条件》, 该标准中只有制造、检验方面的内容, 而没有设计、材料方面的内容。以后还出现了一些专业标准和企业标准。JB/T 4734—2002《铝制焊接容器》不但取代了 JB 1580, 也是我国第一个内容完整的(包括设计、材料、制造和检验)铝容器的基础标准。包含了压力容器和常压容器, 也包含了全铝容器和衬铝容器。本文为该标准的标准释义。

铝容器主要用作耐蚀容器、防铁污染容器及低温容器, 主要用于化工、石油、化纤、空气分离等工业。

本标准的编制形式与 GB 150《钢制压力容器》相似。铝容器与钢容器一致的内容也尽量参照 GB 150。

我国的变形铝牌号有一部分已经采用了变形铝及铝合金国际牌号注册协议组织确定的四位数字体系牌号, 现在美、日、英、法等国也都采用了四位数字体系牌号, 相同的四位数字牌号具有相同的化学成分。因此我国已采用四位数字体系的牌号与国外铝材有很好的—致性。本标准的一些参数也尽量参照美国 ASME—1998 等国外铝容器标准中的规定, 以利于与国际接轨。

本标准的“标准释义”由全国压力容器标准化技术委员会组织编写, 其中第一、三、五、六、七章由黄嘉琥执笔, 第二章由桑如苞执笔, 第四章由许志远执笔。全文由寿比南审核。杨国义参加了部分工作。

第一章 铝容器的特点

绝大部分容器由钢材制造,各主要工业国家均有钢制压力容器的规范,大都也有铝制压力容器的规范,除美、日、俄等国各种材料的容器规范较全外,德、英、法等国除了有钢容器规范外,另外只有铝容器规范而没有其他材料的容器规范,可见铝容器的应用比较广泛。铝容器的特点是由于铝的性能与钢和其他金属材料的性能不同而形成的。

1 铝容器的应用特点

(1) 铝在空气和氧化性水溶液介质中,其表面较易产生致密的氧化铝钝化膜,它在一些氧化性介质中具有良好的耐蚀性。在高温浓硝酸中,纯铝的耐蚀性优于不锈钢。铝容器的应用之一为耐蚀容器。但铝容器的耐蚀适用范围比钛和不锈钢窄。

(2) 对一些腐蚀性不太强的介质,如化纤生产介质等,碳素钢的腐蚀并不严重,但腐蚀产物含铁,会污染物料,不能满足生产要求。铝有较好的耐蚀性,而且不会有铁污染物料,因而这时常使用铝容器。铝容器的应用之二为防铁污染的容器。其他有色金属容器也能防铁污染,但铝容器最便宜,因而用得更多。

(3) 铝是面心立方晶格,没有其他同素异构体,低温下不存在像铁素体钢那样的脆性转变,铝容器的最低设计温度可达 -269°C 。铝容器的应用之三为低温容器。

(4) 铝,特别是纯铝的规定非比例伸长应力很低,在小的载荷下即会产生塑性变形。铝容器在使用与运输时很容易碰撞变形,因此应注意。

(5) 在各种金属的容器中,铝容器是强度与刚度最低的容器。铝容器是相对重量最轻的容器,也是允许最大设计温度最低的容器。

2 铝容器的用材特点

(1) 按单位体积的价格比较,铝材比普通钢材贵不了多少,铝材要比不锈钢材便宜。

(2) 铁素体钢存在明显的屈服限,符号为 σ_s 。奥氏体钢和铝均没有明显的屈服现象,奥氏体钢代之以屈服强度,符号为 $\sigma_{0.2}$;铝代之以规定非比例伸长应力,符号为 $\sigma_{p0.2}$ 。

(3) 变形铝及铝合金国际牌号注册协议组织对变形铝及铝合金的牌号采用四位数字体系牌号命名方法,现在美、日、英、法等国都采用四位数字体系牌号,同一个四位数字的牌号具有相同的化学成分,这很便于各国铝材的相互通用。我国 GB/T 16474—1996《变形铝及铝合金牌号表示方法》采用了国际四位数字体系牌号,而我国原有牌号则采用四位字符体系牌号的命名方法。基于国内的现状,本标准中采用的容器用铝牌号也不得不同时采用了四位数字牌号和四位字符牌号,甚至还有按 GB/T 340—1976 的老牌号。在实际选用铝材时应当尽量优先采用四位数字牌号,以便与国际接轨,利于对外贸易。

(4) GB/T 3190—1996《变形铝及铝合金化学成分》中共有 143 个牌号,容器用铝中只取用了 20 几个变形铝牌号,主要选用耐蚀性好、塑性高的牌号。纯铝的纯度越高,形成的氧化膜越致密、耐蚀性也越好。对于铝合金而言,只有加入镁、锰、硅才能提高铝的耐蚀性。由于铝硅合金热塑性差,不用于变形铝材,只用于铸铝,因而变形铝合金主要采用铝镁合金和铝锰合金。按照德、法两国容器用铝材的要求,变形铝材的伸长率(横向)应不低于 14%。因而本标准容器用铝基本上选用伸长率不低于 14% 的牌号。另外选用了少数铝镁硅合金和铝铜合金,主要用于耐蚀要求不高而强度要求较高的容器或构件。

(5) 为了得到好的塑性,纯铝、铝锰合金和铝镁合金的变形铝材都只在退火状态或热作状态使用,不采用冷作状态。热作状态铝的焊接接头,焊接热对热影响区有退火作用,因而其许用应力也只取退火状态铝材的许用应力。只有铝镁硅合金和铝铜合金的铝材才采用固溶时效状态,以保证其高强度,焊接接头的许用应力另订。

(6) 镁在铝中的极限溶解度为 14.9%,但室温溶解度仅为 0.34%,镁含量较高时,会以金属间化合物 Mg_2Al_3 和 Mg_5Al_8 的形式在晶间析出,使铝镁合金在某些介质中产生应力腐蚀敏感性,这里只有在 65℃ 以下使用才不会产生应力腐蚀,因此含镁量超过了 3% 的铝镁合金规定设计温度不超过 65℃。析出相过多也会降低冲击韧性,因此含镁量超过 3% 的铝镁合金及其焊接接头应检验冲击韧性。其他铝和铝容器,包括低温铝容器均不要求进行冲击韧性检验。

(7) 铝没有同素异构体,纯铝、铝锰合金、铝镁合金等不可能通过热处理相变来提高强度,称为不可热处理强化铝。铝镁硅合金可通过固溶时效析出 Mg_2Si 强化相提高强度,铝铜合金可通过固溶时效析出 $CuAl_2$ 强化相提高强度,称为可热处理强化铝。由于铝镁硅合金固溶时效状态强度高,塑性也不太低,焊接性好,焊接接头在焊后状态仍能保持较高的强度,因而常用作容器用高强度铝合金。

(8) 铝和钢可以爆炸成复合板,但国内尚没有铝钢复合板的标准和标准产品,铝容器一般不用复合板制造。

(9) 我国尚无适用的铝锻件国标或行标,本标准中只推荐一些铝锻件的内容。

3 铝容器的设计特点

(1) 铝材比普通钢材稍贵,尤其是铝的强度比钢低得多,纯铝在较高温度下比钢的强度更低。因而容器常用衬铝结构,由钢层承载,衬铝层起耐蚀与防止铁污染的作用。

(2) 常温下铝的线膨胀系数为 $22.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,而铁素体钢为 $11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,铝约为钢的两倍,衬铝容器设计中应考虑此附加热应力。

(3) 选用铝材除应考虑耐均匀腐蚀性能外,还应考虑晶间腐蚀、点腐蚀、应力腐蚀等性能。

(4) 铝和钢不能熔焊,衬铝层常用盖板搭接焊结构,钢件上也不能堆焊铝。

(5) 铝容器耐冲蚀性能不好,高速流体的冲击和磨损会破坏铝表面的钝化膜,对介质的流速应予以限制。腐蚀性介质的流速应低于 1.5 m/s,清水的流速应低于 6 m/s。

(6) 铝很软,用作螺栓容易咬死,铝容器中应尽量使用钢螺栓。铝螺栓也应采用强度高

的铝。

(7) 在浓硝酸等介质中,铝焊缝的耐蚀性比母材差得较多,采用无缝旋压铝筒可获得较好的效果。

4 铝容器的制造检验特点

(1) 铝在高温下易与空气中的氧反应,铝容器的焊接要求有良好的保护。铝药皮焊条焊接,虽工艺上可行,但焊接质量差,不能用于容器焊接。气焊的焊接质量也不理想,不推荐使用。铝容器的焊接主要采用氩弧焊,才能得到好的保护效果。

(2) 铝的热导率和比热容均约为铁素体钢的两倍多,铝的热导率则是奥氏体不锈钢的十几倍。在焊接过程中大量热量迅速传导到基体金属上消耗掉,因而铝的焊接应尽量采用能量集中、功率大的能源。

(3) 焊接时铝熔池凝固时的体收缩率约为钢的两倍,因而铝焊缝容易产生缩孔、缩松及热裂纹。

(4) 铝焊接熔池易吸收氢等气体,焊缝易产生气孔。熔池中进入氧化铝易形成夹渣。焊前清除焊件与焊丝的氧化膜、水分、油污、有机物等对铝的焊接很重要。

(5) 铝焊接熔池金属固态与液态没有明显的色泽差别,焊接时应注意掌握。

(6) 铝容器焊后一般不要求热处理。

(7) 铝无磁性,表面无损检测不能用磁性法,常用渗透法。

第二章 标准范围与总则

(标准第 1、3 章释义)

铝制焊接容器标准的内容与 GB 150《钢制压力容器》标准具有很大的共同性,美国 ASME 标准,即是将它们置于同一标准中。

本标准中范围、总则的大部分内容与 GB 150 是相同的,以下仅就不同之处作重点说明:

1 范围

(1) 本标准适用范围

本标准适用于全铝、衬铝两种焊制容器。

本标准给出的容器各元件计算方法适用于全铝容器,其结构、制造、检验等部分则适用于上述两种容器的铝制部分。对衬铝容器的钢制部分,其设计、制造、检验等按 GB 150 的规定。

(2) 本标准适用设计压力范围

本标准适用设计压力范围的确定基于以下考虑:

① 国内铝制容器设计,长期以来参照原化工部基建局的 CD 130A7-85 标准,该标准已具相当的使用经验,但鉴于当时使用条件,主要是利用铝材的耐腐蚀性能,多数容器均为常压和低压,为此其设计压力使用上限为 1.6 MPa。

② 国外同类标准适用压力范围

美国 ASME VIII-1 为 20 MPa。

日本 JIS B 8270—1993(第 2 类容器)为 30 MPa。

③ 《压力容器安全技术监察规程》(以下简称:《容规》)规定铝制容器最高设计压力为 8 MPa。

考虑到本标准适应发展的需要和与《容规》相协调及逐步与国际标准接轨,故本标准适用设计压力范围定为 8 MPa。铝材允许使用温度下限为 $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

本标准也适用于常压容器。

2 总则

总则内容:资格与职责、容器范围、定义、设计的一般规定等与 GB 150 是相同的,在此免述。以下对许用应力(安全系数)、许用轴向压缩应力、焊接接头系数、试验压力及最小厚度五个问题进行说明。

(1) 安全系数

本标准确定铝材许用应力的安全系数问题上,考虑了以下三个方面:

① 国内有长期使用经验的 CD 130A7—85 标准,其中规定: $n_b^t = 4.0$, $n_s^t = 1.5$ 。

② 国外标准:

美国 ASME VIII - 1: $n_b^t = 3.5$, $n_s^t = 1.5$ 。

英国 BS 5500: $n_s^t = 1.5$ 。

日本 JIS B 8270: $n_b^t = 4.0$, $n_s^t = 1.5$ 。

德国 AD 规范: $n_s^t = 1.5$ 。

法国 CODAP: $n_b^t = 3.0$, $n_s^t = 1.6$ 。

俄罗斯 TOCT 26158: $n_b^t = 3.5$ (无持久强度数据时), $n_b^t = 2.4$ (有持久强度数据时), $n_s^t = 1.5$ 。

③ 《压力容器安全技术监察规程》: $n_b^t = 4.0$, $n_s^t = 1.5$ 。

本标准规定铝材许用应力按下列各值中的小值确定。

$$\sigma_b/4.0, \sigma_b^t/4.0, \sigma_{p0.2}/1.5, \sigma_{p0.2}^t/1.5。$$

其中: $\sigma_{p0.2}$, $\sigma_{p0.2}^t$ ——铝材在常温和设计温度下的“规定非比例伸长应力”。

(2) 许用轴向压缩应力

本标准对铝材许用轴向压缩应力的确定等效采用美国 ASME VIII - 1 标准内容。为此其系数 A、B 的计算式与 ASME VIII - 1 一致(与 GB 150 不同),铝材的外压曲线中有 5 条曲线系用国产铝材由国内测定而得,其他曲线依材料性能近似采用 ASME 标准中的相应曲线。

(3) 焊接接头系数

本标准对铝材对接焊接接头系数的确定主要参照以下规定:

① 原化工部 CD 130A7—85 标准。

② 原国家质量技术监督局《压力容器安全技术监察规程》1999 版。

以上两者对焊接接头系数的规定一致,具有长期使用经验,故本标准主要参照这些系数,并与国家质量监督检验检疫总局协商一致稍作修改。

(4) 内压力容器试验压力

本标准对内压力容器的试验压力取值与 GB 150 一致。

$$\text{液压试验: } p_t = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$$

$$\text{气压试验: } p_t = 1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$$

(5) 最小壁厚

由于铝材强度较低,为保证制造和运输等方面对刚性的要求,国内设计标准 CD 130A7—85 中规定为 3 mm。国外标准对最小厚度的要求与钢制容器相同。本标准考虑到铝材性能较软,为确保容器刚性,圆筒体的最小厚度定为 3 mm。

第三章 容器用铝

(标准第4章,附录F、G释义)

1 背景情况

(1) 国内原有的铝容器行业标准为 JB 1580—75《铝制焊接容器技术条件》。此标准中仅有制造与检验方面的内容,没有设计和材料方面的内容,不能满足铝容器设计与用材的要求。CD 130A7—85《铝制焊接容器设计技术规定》为局批化工设备专业标准,其中包含了材料的内容,由于此标准不是行业标准,制订的时间也较早,因而也不能满足铝容器的要求。原机械部第三装备司发布的通用机械专业内部标准 JB/TQ 711—88《空气分离设备用有色金属焊接压力容器设计规定》中包括了铝材的内容,但此标准仅适用于空分设备中的铝容器,其许用应力只列出了室温下的许用应力值,明显不能满足铝容器行业要求。在本标准“材料”章的编制中要参考以上这些国内铝容器标准。原国家质量技术监督局发布的《压力容器安全技术监察规程》中已包含了压力容器用铝材的安全技术方面的规定,本标准的“材料”章亦应符合其有关规定。

(2) 美国 ASME—1998、日本 JIS B 8270—1993、德国 AD 压力容器规范 W 6/1—1990、英国 BS 5500—1997、法国 CODAP—1995(E)以及俄罗斯 ГОСТ 26158—1984 (1988 年修订)《有色金属容器和构件强度计算与方法的一般要求》等容器规范中都包含了铝容器与容器用铝方面的内容,可作为本标准“材料”章与附录 F 的编制参考。我国的铝及铝合金体系基本上与上述各国的铝及铝合金体系是一致的,大部分容器用铝的国内牌号均与国外牌号有较好的对应关系,容器用铝可以较多地采用国外的经验。

(3) 各国容器用铝都没有制订容器用铝的专用铝材标准,而以铝材的通用材料标准作为依托,美国 ASME 中虽也列有铝材标准,但其内容基本上与 ASTM 中的铝材标准是一致的,主要只是编辑上的差异。我国现行的铝材国家标准均属通用材料标准,没有容器用铝的专用铝材标准,也没有准备制订容器专用铝材标准,因此我国的容器用铝也必须以国内现行的铝材通用材料标准作为依托。当然,铝材的通用材料标准中的技术要求一般不能完全满足容器用铝的技术要求,因此在铝材通用材料标准的基础上还必须由本标准以及容器设计图样与技术文件中补充提出对容器用铝的附加技术要求。

(4) 1996 年我国对变形铝及铝合金的牌号表示方法和状态代号,按国际通用方法进行了彻底改变,并重新修订了牌号(化学成分)标准,相应的铝材标准也全面修订。焊接管只能以旧标准作为依托。国内没有现行的铝锻件标准,也没有制定铝锻件标准的计划(原有的铝锻件标准 GBn 223—84 已作废),本标准中推荐了一些铝锻件的牌号和数据。

2 铝材标示方法

(1) 我国铝及铝合金体系过去多沿用前苏联的体系,也曾采用过前苏联的牌号表示方法和状态代号,后来长期按 GB/T 340—1976《有色金属及合金产品牌号表示方法》用汉语拼音字母来标示变形铝及铝合金的牌号,并据此制订了牌号(化学成分)标准 GB/T 3190—1982《铝及铝合金加工产品的化学成分》,列出了 67 个牌号。如:工业纯铝有 L1、L2;防锈铝有 LF21(铝锰合金)、LF2、LF3(铝镁合金)等。

1997 年 1 月 1 日开始实施的 GB/T 16474—1996《变形铝及铝合金牌号表示方法》代替 GB/T 340—1976 中有关变形铝及铝合金牌号表示方法部分,新的牌号表示方法主要采用变形铝及铝合金国际牌号注册协议组织(简称国际牌号注册组织)推荐的国际四位数字体系牌号命名方法,这是国际上比较通用的牌号命名方法,美、日、英、法等国均采用这种命名方法,如工业纯铝有 1070、1060;铝锰合金有 3003;铝镁合金有 5052、5086 等。

我国还有一些变形铝及铝合金的牌号系原引用的前苏联牌号,或由国内自行研制生产的牌号,属于国际牌号注册组织未命名的铝及铝合金,不能采用国际四位数字体系牌号,这些铝及铝合金则采用四位字符体系牌号的规定命名,如:工业纯铝有 1A90、1A85;铝锰合金有 3A21;铝镁合金有 5A02、5A05 等。按照国际四位数字体系和四位字符体系两种牌号表示方法制订了变形铝及铝合金新的牌号(化学成分)标准 GB/T 3190—1996《变形铝及铝合金化学成分》代替 GB 3190—82,列出了 143 个牌号。牌号一下增加了这么多,是由于既要采用国际通用的国际四位数字体系牌号以与国际接轨,同时还要保留国内现有大量的非四位数字牌号,不得不用四位字符体系来表示,以维持国内的现有生产习惯。在两种体系表示的牌号中不乏化学成分相近,因而性能基本相同的牌号。如典型的铝锰合金,国际四位数字体系牌号为 3003,老牌号 LF21 用四位字符体系表示的牌号为 3A21,其化学成分列于表 3-1。应当说其化学成分是基本相同的。

表 3-1 铝锰合金化学成分(%)比较

牌号表示方法	牌号	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	单个杂质	杂质总量	Al
汉语拼音字母	LF21	≤0.20	≤0.05	1.0~1.6	≤0.7	≤0.60	≤0.10	≤0.15	≤0.05	≤0.10	余
四位字符	3A21	≤0.20	≤0.05	1.0~1.6	≤0.7	≤0.6	≤0.10	≤0.15	≤0.05	≤0.10	余
四位数字	3003	0.05~0.20	—	1.0~1.5	≤0.7	≤0.6	≤0.10	—	≤0.05	≤0.15	余

也可以考虑牌号标准中不列 3A21、只列 3003,为了照顾国内生产 LF21 的习惯,在列出 3003 的同时,又列出了 3A21。从应用者的角度,这两个牌号基本上是重复的,在 3003 和 3A21 中应当只采用 3003,即尽量采用国际四位数字体系的牌号,以便于与国际接轨。在铝容器中采用国际四位数字体系的牌号时,使用国产铝材与进口铝材可以用同样的牌号和化学成分,便于在国产与进口中互换使用。出口铝容器也较易在材料上得到国外的认同。而采用四位字符体系的牌号就不易取得这样的效果。

(2) GB/T 16474—1996 在 1997 年 1 月 1 日实施后,由于有的铝材标准中还采用了老的

牌号表示方法,修订这些标准需要一个时间过程,因而存在一个过渡期间,“在过渡期间,国内过去使用的牌号仍可继续使用,自然过渡,暂不限定过渡时间。”为应用方便,本标准中对容器用铝列出了新、老牌号对照表。(见附录G表G.2)

(3) 变形铝及铝合金的状态代号原按GB/T 340—1976,如退火代号为M,热作代号为R。GB/T 16475—1996《变形铝及铝合金状态代号》已代替了GB/T 340—1976中有关变形铝及铝合金产品状态代号部分,主要根据ANSI H35.1—1993《铝合金及其状态代号体系》制定,这是国际上比较通用的状态代号命名方法。如退火代号为O,热作代号为H112。“在过渡期间,国内过去使用的状态代号仍可继续使用,但新编制的技术文件应使用新的状态代号。自然过渡,暂不限定过渡时间。”因而列出了新、老状态代号对照表(见附录G表G.4)。

(4) 铸造铝合金的牌号表示方法与合金状态代号与变形铝合金完全不同。铸造铝合金还有合金代号、合金铸造方法和变质处理代号,本标准附录G中均列表说明。铸铝合金代号为ZL×××,后面三个数字中的第一位数字表示合金系列,“1”为铝硅合金、“2”为铝铜合金、“3”为铝镁合金。

3 容器用铝的确定

(1) 容器用铝和容器用钢一样,必须满足容器制造和使用的基本要求,即制造中便于成形和焊接,使用时能安全承载,因而要求容器用铝有适当的强度、良好的耐蚀性、塑性和焊接性能。

容器的承载能力不仅与铝材强度有关,还与设计中根据材料强度所计算出来的构件尺寸(筒体壁厚)有关,因而材料强度高低只影响构件尺寸大小,一般并不影响到材料是否能用。法国CODAP—1995(E)要求容器用铝的抗拉强度下限标准值 $\sigma_b \leq 350\text{MPa}$,并不规定强度要超过多少才能作为容器用铝。

容器构件的制造成型与使用的塑性储备主要靠铝材(包括焊缝)本身的塑性来保证,因而对容器用铝的塑性下限有更具体的要求。铝为面心立方晶格,有良好的塑性。德国AD规范规定容器用变形铝及铝合金的横向伸长率 δ_5 不得低于14%。法国CODAP—1995(E)中规定容器用铝垂直于变形方向的伸长率应 $\geq 14\%$,平行于变形方向的伸长率 $\geq 16\%$,只有在保证没有脆性、能够成形并得到有关部门——特别是容器制造部门的同意时才允许伸长率较低。美、日、英等国的容器用铝在退火状态的伸长率一般也在14%以上。因而本标准中所确定的容器用铝也基本上要求横向伸长率不低于14%,纵向伸长率不低于16%。

由于规定焊接构件的许用应力只能取用退火状态(或另有指定)的许用应力,因而对于焊接构件而言,采用非退火状态的较高强度的铝材并不能减小构件尺寸(壁厚),并不能发挥强度高的优点。因此焊接构件宜用退火状态的铝材,以获得更高的塑性。对于一些铝及铝合金,热作状态也有较好的塑性,美、日、德等国也采用了热作状态,本标准也采用了热作状态。美、日两国容器用铝还采用了冷作状态,塑性较低,只适用于不形成或少成形的非焊接构件。本标准在规定的材料中没有采用冷作状态。对于可热处理强化的铝合金如铝镁硅合金,其固溶时效状态具有好的强度和塑性,本标准与美、日、英等国一样也采用了。固溶时效状态铝合金焊接接头的许用应力专门予以规定。本标准没有排斥伸长率稍低的铝材的应用,其主要用于不形成或少成形的构件。

(2) 容器之所以采用价格比钢较贵的铝而不采用钢,是由于铝相对于钢所具有的一些特性。铝的相对密度低、比强度高,这些特性对于本标准的固定式容器并不特别适用。铝的导电性好则对容器而言关系不大。铝的热导率较高,似乎对用于容器与换热器的传热组件有利,但由于铝的强度低,特别是在有较高温度(当然不超过 200 ℃)时强度更低,使传热组件不得不增加厚度,不见得能减少传热面积与减轻重量。由于铝的弹性模量较低,在管壳式换热器上不容易有好的胀管效果,因而采用不多。铝常用来制造板翅式换热器用于清洁的气-气换热。

容器用铝最主要的是利用铝良好的耐蚀性及良好的低温塑性、韧性。铝在浓硝酸、有机酸等腐蚀介质中有良好的耐蚀性,对工业环境有良好的防锈性,在化纤、医药等要求不受铁离子污染的介质中使用可以用作防铁离子污染的容器。因而大部分铝容器都是利用铝的耐蚀性。铁素体钢在低温下会产生低温脆性,而铝和其他有色金属一样,在低温下仍具有良好的塑性、韧性。铝又比钛、镍、铜、奥氏体不锈钢便宜,因而铝也常用作低温容器,如空气分离设备中的低温容器等。ASME 规定,对于变形铝及铝合金而言,使用温度降至 -269 ℃;对于铸铝合金而言,使用温度降至 -200 ℃时,对材料无附加要求,即不要求检验低温下的塑性、韧性。

(3) 由于大部分铝容器都是利用铝的耐蚀性,因而容器用铝应当主要采用耐蚀性好的铝及铝合金牌号。铝系活性金属,其耐蚀性好是由于其表面容易生成致密的 Al_2O_3 氧化膜,缓滞了进一步的腐蚀。铝为钝化型金属,铝的钝化系数为 0.82 (铁为 0.18、镍为 0.37、钛为 2.44),因而铝比铁素体钢耐蚀性好得多。

工业纯铝比非耐蚀铝合金(铝铜合金、铝锌合金等)耐蚀性好,纯度越高耐蚀性也越好,因而工业纯铝(含铝量超过 99%)是重要的容器用铝,工业纯铝的塑性好也是采用较多的原因之一。在铝合金中,铝硅合金、铝镁合金、铝锰合金属耐蚀铝合金。

变形铝合金主要采用铝锰合金和铝镁合金,过去这两类合金统称为防锈铝,老牌号标以 LF××,F 即为防锈铝中“防”字汉语拼音的第一个字母。锰在铝中的室温溶解度仅为 0.05%,但其极限溶解度为 1.82%,铝锰合金中锰含量常为 1%~1.6%,典型牌号为 3003。铝锰合金的析出相 MnAl_6 与基体的电极电位十分接近,不会因析出相而降低耐蚀性。镁在铝中的室温溶解度为 0.34%,极限溶解度为 14.9%,铝镁合金表面可形成 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ 尖晶石型氧化膜,具有良好的耐蚀性。当含镁量较高时,铝镁合金中会析出 β 相 Mg_2Al_3 和 Mg_5Al_8 , β 相与基体间的电位差较大,会使耐蚀性明显下降,因而铝镁合金中的镁含量一般低于 12%,常用牌号含镁量低于 8%,不同镁含量形成不同牌号。当 β 相在晶界分布时,会产生应力腐蚀敏感性。因而美、日、英等国的容器规范中均限制镁含量超过 3% 的铝镁合金的使用温度不得超过 65 ℃(也有定 75 ℃或 80 ℃的),这是因为镁含量超过 3% 后,晶界有可能析出 β 相,可能存在应力腐蚀敏感性,而一般认为,即使在具有应力腐蚀敏感性的合金与介质体系中,温度低于 65 ℃是不会产生应力腐蚀开裂的。晶间析出 β 相还可能使铝镁合金韧性下降,因而有的容器规范规定,对于镁含量超过 3% 的铝镁合金板材,当厚度可以取冲击试样时,应进行冲击韧性检验。铝中加入硅后,表面会有致密的 Al_2O_3 和 SiO_2 保护膜同时存在,耐蚀性大大提高。硅在铝中的室温溶解度为 0.05%,极限溶解度为 1.65%。但一

般硅的含量要到 5% ~ 13% 才能显著提高耐蚀性,超过溶解度的硅呈 β 相析出, β 相基本上是纯硅, β 相与基体的电位相差不大,不会因为相间的电位差影响耐蚀性。由于加入 5% ~ 13% 的硅使得热成型性能大大下降,因而铝硅合金一般不用作变形铝合金,主要用于铸造合金。铝硅合金具有良好的铸造性能。

(4) 在通用铝材标准的牌号中,容器用铝究竟选用哪些牌号。表 3-2 中列出了美、日、英、德、俄、法等国和我国的容器用铝牌号。

表 3-2 各国容器用变形铝

国际铝牌号 注册组织牌号	美 ASME —1998	日 JIS B 8270 —1993	英 BS 5500 —1997	德 AD 规范 W6/1—1990	俄 TOCT 26158 —1984(1988)	法 CODAP —1995(E)	中国,本标准
				Al99.98R			
1090							
1085					A85		1A85
1080		1080			A8		
1080A				A199.8		1080A	
1070		1070					
1070A				A199.7	A100		
1060	1060						1060
1050		1050					
1050A			1050A	A199.5	A 0	1050A	1050A
1030					A 1		
1100	1100	1100					
1200		1200					1200
2014	2014	2014					2A14、2014
2017							2A11
2024		2024					2A12、2024
3003	3003	3003	3003	AlMnCu	AMnC	3003	3003
3004	3004	3004					3004
3103			3103	AlMn			
3203		3203					
5052	5052	5052				5052	5052、5A02
5056		5056					
5083	5083	5083	5083	AlMg4.5Mn		5083	5083
5086	5086	5086				5086	5086
5154	5154	5154					5A03
5154A			5154A		AMT3		
5251			5251		AMT2	5251	
5254	5254	5254					
5454	5454	5454	5454	AlMg2Mn0.8		5454	5454
5456	5456				AMT5		5A05
5652	5652	5652					
5754				AlMg3		5754	
					AMT6		
6060				AlMgSi0.5			
6061	6061	6061	6061				6061

表 3-2 (续)

国际铝牌号 注册组织牌号	美 ASME —1998	日 JIS B 8270 —1993	英 BS 5500 —1997	德 AD 规范 W6/1—1990	俄 TOCT 26158 —1984(1988)	法 CODAP —1995(E)	中国, 本标准
6063	6063	6063	6063, 6063A				6063
6082			6082				
6165							6A02
7003		7003					
7N01		7N01					
8040							
复 3003	复 3003						
复 3004	复 3004						
复 6061	复 6061						
A02040	204.0						ZL203
A24430	B443.0						
A03560	356.0	AC4C					ZL114A
		AC7A					ZL303
变形铝牌号数	15	22	11	10	10	9	21

本标准的容器用铝牌号参照了各国的容器用铝牌号。各国容器用铝材的产品包括板、拉(轧)管、挤压管、焊接管、换热管、拉(轧)棒、挤压棒、锻件、型材、铸件等。在变形铝中并不是每个牌号的各种产品类型都列为容器用铝,如铝铜合金,其强度高、锻造性能好,耐腐蚀性与焊接性较差,只用于棒材、型材与锻件等制造非焊接构件。

(5) 本标准的容器用铝只能以国内现行的国标或行标的铝材标准作为依据。牌号与状态只能采用铝材标准中已有的牌号与状态。且只能局限于保证力学性能的尺寸范围。

到本标准定稿时,焊接管标准还得采用老字号与状态的老标准。铸铝标准也属新标准。我国现行标准中没有铝锻件标准,因而本标准推荐了一些铝锻件。美、日、英的螺栓用铝均采用拉(轧)棒,我国现行铝材标准中只有挤压棒标准,没有拉(轧)棒标准,本标准只好暂时采用挤压棒作为螺栓用铝。我国也没有铝换热管标准。

(6) 本标准容器用铝只限于我国现行铝材标准中的牌号、状态和保证力学性能的尺寸范围。超过这些尺寸范围的铝材也能生产供应,但力学性能指标需另行协商,只要能保证力学性能,容器也是可以用的,如所保证的强度较低,可以另外计算其最大许用拉伸应力值。

我国的铝材合金体系基本上与国外是一致的,尤其是采用国际四位数字牌号表示方法的牌号与国外铝材具有更好的一致性,采用与本标准材料相对应的国外进口铝材应当是可以的。也还有其他铝材(如新研制材料)可以用于容器。应用这些铝材时,必须同时符合下列条件:

① 化学成分符合相应铝材标准的要求;

② 室温抗拉强度、规定非比例伸长应力、伸长率的下限值均为保证值;

③ 一般要求室温下变形铝材在平行于变形方向的伸长率不小于 16%,垂直于变形方向的伸长率不小于 14%。只有在确知铝材用于不变形或变形较小的容器构件(至少封头不

属变形量较小的构件),且经制造部门认可可以顺利成形时,才可应用伸长率较低的铝材;

④ 室温抗拉强度的保证值不大于 350 MPa(螺栓与不焊接不成形件用棒材除外);

⑤ 该铝材具有设计温度下的抗拉强度和规定非比例伸长应力的下限保证值资料;

⑥ 按《压力容器安全技术监察规程》规定办理有关技术评审和批准手续。

(7) 容器用铸铝主要参照美、日容器用铸铝的牌号与状态。铸铝不需再成形,不用于焊接构件,对其塑性要求可以较低。

(8) ASME 容器用铝中采用了包复铝板,其他国家未用。我国铝板标准中也有包复铝板,但我国包复铝板的牌号与美国均不相同,我国铝容器一般不采用包复铝板,在制造、焊接与使用方面均不熟悉,因此本标准中的容器用铝材没有采用包复铝板。

(9) 容器用铝的牌号数量理应在基本够用的前提下尽量集中。容器用铝的变形铝牌号,美国为 15 个(不包括 3 个包复铝板牌号),日本为 22 个,英国 11 个,德国 10 个,法国 9 个,俄罗斯 10 个,而我国则为 21 个。我国铝容器的使用经验不够丰富,在使用中,根据需要会自然集中到较少的牌号上去,希望以后本标准在修订时能将牌号更集中些。

(10) GB/T 3880—1997 铝板标准中说明:“国际四位数字牌号的铝及铝合金力学性能采用 ASTM B209 或 JIS H 4000 标准指标,四位字符牌号的铝及铝合金力学性能基本采用原 GB 3880—83 以及 GB 3193—82 标准指标。为与国际接轨,本标准采用新的拉伸试样,即热处理不可强化的铝及铝合金的力学性能改为纵向取样(按 GB/T 16865—1997《变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样》),厚度 ≤ 12.5 mm 的板材,试样标距为 50 mm;厚度 > 12.5 mm 的板材,试样标距为 $5D$ 。新试样的拉伸试验结果与原试样拉伸试验结果相近,只是伸长率略高于原试样。由于四位字符牌号的铝及铝合金目前缺少新试样的拉伸试验统计资料,所以本标准暂规定基本采用原标准的力学性能指标,同时根据生产实际对个别伸长率值进行了调整,今后还将进一步予以修正。”应当注意到铝的力学性能的这种特点。

4 容器用铝的订购技术要求

(1) 容器用铝以现行铝材标准为基础,因而订购首先应满足铝材标准中的技术要求。由于这些铝材标准均为通用材料标准,并非压力容器专用材料标准,因而仅有铝材标准中的技术要求尚不能满足容器用铝的技术要求,必须提出补充技术要求。属于容器用铝的共性补充技术要求由本标准中提出;属于具体容器对所用铝材的特殊补充技术要求则由容器设计图样和技术文件中提出。容器用铝的订购技术要求应为这三部分的总和。

(2) 订购时应注明铝材的热处理状态为 O 或 H112 或 T。力学性能试样与所供铝材应为同样的状态。

(3) 较薄铝板的弯曲试验在美、日铝板标准中均作为附加的必保技术要求,而在我国铝板标准中则未提及;本标准中将铝板弯曲试验补列为附加技术要求,并参照美、日标准制定了弯曲试验参数。

(4) 容器用铝应确保室温 σ_b 和 $\sigma_{p0.2}$ 作为必保要求,铝材标准中有的牌号没有确保 σ_b 和 $\sigma_{p0.2}$,订购时应补充作为必保要求,合格指标可以按照本标准中表 4-1~表 4-9 中括号中的值,此时许用应力可按表中值,如合格指标经协商订得稍低也是可以的,但此时许用应

力值应另行计算。

(5) 对于含镁量超过 3% 的铝镁合金板材,存在着因晶间析出镁铝金属间化合物过多而产生脆性的可能性。因而应在足够取样的情况下进行 V 形缺口的却贝冲击试验。AD 规范的合格指标为 30 J/cm²,本标准的合格指标参照国外指标制订。

(6) 铝材无损检测问题,CODAP—1995(E)的 M13 章中规定超声波无损检测范围为:板厚 ≥ 40 mm 的铝板、直径 ≥ 29 mm 的铝管、锻件或拔件截面 ≥ 650 mm² 或最小尺寸 ≥ 16 mm 时。考虑本标准所适用的压力不高,管材壁厚较薄,型材厚度也较薄,因而不规定一定要检测。本标准仅提出厚度 ≥ 25 mm 的板材和直径 ≥ 16 mm 的棒材,设计一般应当要求超声波检测。其他情况则由设计考虑。

(7) 铝管的扩口、压扁、卷边、弯曲、液压试验等在铝材标准中未作规定或仅作附加技术要求时,由设计考虑是否必要,本标准不作统一规定。

(8) 铝板、铝管标准中规定由用户选择精度,因而订购时应注明精度,如换热管一般要求高精级。

(9) 某些铝在某些使用介质中存在晶间腐蚀敏感性,各国铝容器标准对铝的晶间腐蚀敏感性检验未作明确规定,本标准也未作明确规定,由设计根据具体应用条件确定是否要求检验。

5 容器用铝的应用温度范围

各国对容器用铝应用温度范围的规定不完全一致,详见表 3-3。

表 3-3 各国容器用铝的应用温度范围

容 器 规 范	铝 材	设计温度上限,℃		设计温度下限,℃
		1993 年公制版	1998 年英制版	
ASME	变形铝 (Mg < 3 %)	200	204(400 °F)	- 269
	变形铝 (Mg ≥ 3 %)	75	65.5(150 °F)	- 269
	铸铝 A02040 - T4	75	65.5(150 °F)	- 200
	铸铝 A03560 - T71	200	204(400 °F)	- 200
	铸铝 A03560 - T6	125	121(250 °F)	- 200
	铸铝 A24430F	200	204(400 °F)	- 200
JIS B 8270—1993	变形铝 (Mg < 3 %)	200		- 268
	变形铝 (Mg ≥ 3 %)	65		- 268
	铸铝 AC4C - T6	125		- 268
	铸铝 AC7A - F	65		- 268

表 3-3 (续)

容 器 规 范	铝 材	设计温度上限, ℃	设计温度下限, ℃
AD W6/1—1990	A199.98R, A199.8, A199.7	100	- 196
	A199.5	100	- 196
		300(按持久强度)	
	AlMg3	100	- 196
		150(按持久强度)	
	AlMg2Mn0.8	100	- 196
		250(按持久强度)	
	AlMg4.5Mn	80	- 196
	AlMnCu, AlMn1, AlMgSi0.5	50	- 196
BS 5500—1997	变形铝 (Mg < 3 %)	100 200(按蠕变强度设计)	- 196
	变形铝 (Mg ≥ 3 %)	65	- 196
CODAP—1995(E)M13	5083, 5086	65	- 250
	1080A, 1050A, 3003, 5251, 5052, 5454, 5754	100	- 250
ГОСТ 26158—1984 (1988 修订)	变形铝	150	
俄“锅炉压力容器制造”	变形铝	160	- 253
CD 130A7—85	变形铝 (Mg < 3 %)	200	- 269
	变形铝 (Mg ≥ 3 %)	75	- 269
JB/TQ 711—88	变形铝	150	- 200
容规(1999 发布)	变形铝 (Mg < 3 %)	200	- 269
	变形铝 (Mg ≥ 3 %)	65	- 269
本 标 准	变形铝 (Mg < 3 %)	200	- 269
	变形铝 (Mg ≥ 3 %)	65	- 269
	ZL114A T5	125	- 196
	ZL203 T4	65	- 196
	ZL303 F	65	- 196

本标准主要参照美、日等国的规定制订,一般变形铝应用温度上限为 200 ℃,下限为 - 269 ℃。含镁量 ≥ 3% 的铝镁合金应用温度上限, ASME 公制版为 75 ℃, 英制版为 150 ℉ (65.5 ℃), 日本也取用了 65 ℃, 故本标准取为 65 ℃。这个温度的确定是考虑到含镁量 ≥ 3% 的铝镁合金甚易存在应力腐蚀敏感性, 须在 65 ℃ 以下应用才不会产生应力腐蚀开裂。如果能确认容器在某介质条件下不存在应力腐蚀敏感性, 或容器焊后经过了退火, 消除了容器上因变形与焊接等所产生的残余应力, 也可考虑在 65 ℃ 以上(200 ℃ 以下)的温度使用。

6 容器用铝的许用应力

(1) 按短时拉伸强度设计, 铝容器的 $n_b \geq 4$ 、 $n_s \geq 1.5$ 。最低 n_s 和最低 n_b 的比值为