设 计 计 算

压力容器筒体开孔坡口设计加工的新方法

A New Method of Beveling of the Hole Edge in Pressrue Vessel Shell

西安五二四厂
李为卫
石油管材研究所
刘亚旭

This paper analyses and researches design and manufacture method of beveling of the hole edge in pressure vessel shell. It puts forward a new chamfering method. This makes chamfering convenient, efficient, high quality and economic.

关键词：压力容器　筒体　坡口　设计加工

1　前言

压力容器接管、人孔筒节等与筒体焊接一般采用插入式，重要容器采用嵌入式，焊缝一般要求全焊透。为保证该类焊缝全焊透，对稍厚一点的筒体均需开坡口。由于筒体开孔为一马鞍面，常规设计的坡口面也为一马鞍面，制造加工时难度比较大，以下将对此进行具体分析。

2　分析

压力容器筒体开孔及坡口制造常用镗床机加工、马鞍形火焰切割机、手工气割、手工等离子弧切割、碳弧气刨等方法完成，必要时需用手工修磨辅助完成。对有淬硬倾向的低合金高强钢，如果焊前需要预热，则用热加工方法加工，坡口也需预热；否则坡口易出现淬硬组织，甚至出现表面微裂纹。而预热则增加工序，费时费力且不易保证质量。因此，对这类材料最好采用机加工方法开坡口。与热加工方法相比，机加工方法效率高，质量容易保证，因此对不锈钢设备、重要的核容器、压力容器，筒体开孔坡口常采用这一方法。

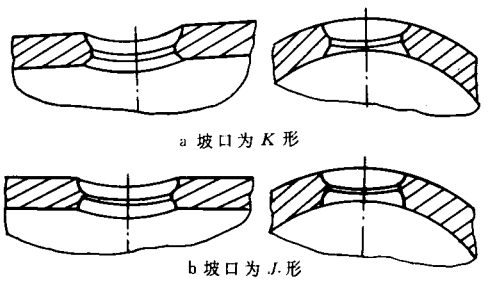
从制造加工的角度，坡口剖面为直线的单边V型和K型坡口容易加工(可用机加工或热切割方法直接加工)，而坡口剖面为曲线的单面J型坡口和双面J型坡口加工较为困难。机加工或热加工方法只能加工轮廓，对坡口尺寸难以保证，需要用修磨来完成，效率比较低，因此坡口应尽量设计成坡口面为单V型或K型坡口。

对于厚度较薄筒体（约≤20mm），开孔坡口可设计为单边V型或K型坡口，坡口角度45°～55°；对于厚度较厚筒体（约20～40mm），如果筒体直径较大且容器结构允许从内部施焊，可设计为K型坡口，如果筒体直径较小及容器结构不允许从内部施工，则必须从外部施焊，且焊缝要求单面焊双面成型。为避免坡口

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

太宽，则设计为单面J型坡口；对于厚度更大的筒体（>40mm），为避免坡口太宽，只有设计为单面J型坡口或双面J型坡口。

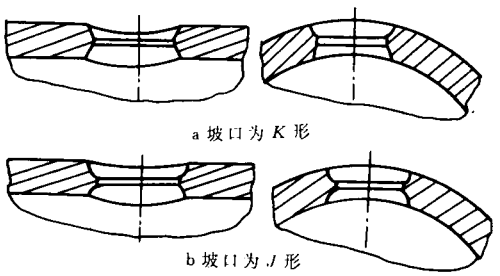
按常规设计的坡口面，钝边在一马鞍面内（见图1），如果用非数控镗床加工，需人工一点一点加工，工作效率低，加工精度、光洁度不高（还需手工修磨），假如将坡口钝边及坡口面设计在一个旋转曲面内（见图2），镗床刀具就以开孔中心为圆心整圆，工作效率及质量均可大大提高。对一定直径的筒体和一定尺寸的开孔，只要筒体厚度足够，即可达此目的。以下通过计算进行分析。



a 坡口为 K 形

b 坡口为 J 形

图 1



a 坡口为 K 形

b 坡口为 J 形

图 2

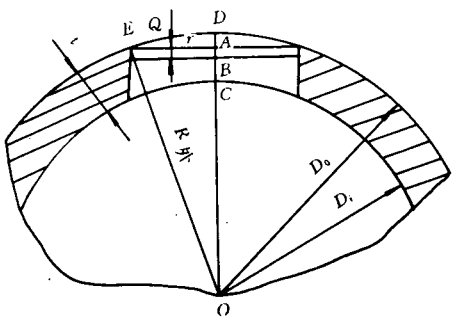


图 3

图3中，$R_{外}$ 为筒体外径，t 为壁厚，r 为开孔半径，P 为坡口钝边，OD为筒体开孔中心。

BC=OB−OC，只要BC≥0就可使钝边在一个柱面内，可以较方便地加工出来。

$$BC = OB - OC$$
$$= (OA - AB) - (OD - CD)$$
$$= (\sqrt{R_{外}^2 - r^2} - P) - (R_{外} - t)$$

由 $BC \geqslant 0$，可以推出 $t \geqslant R_{外} + P - \sqrt{R_{外}^2 - r^2}$，即可使坡口钝边在一个柱面内。

上式中，BC=0，即 B 点与 C 点重合，这种情况为保证钝边在一个柱面内的最大开孔，最大开孔尺寸$\varnothing_{max}$可以计算如下：

$$\varnothing_{max} = 2r_{max} = 2\sqrt{OE^2 - OA^2}$$
$$= 2\sqrt{R_{外}^2 - (R_{内} + P)^2}$$
$$= 2\sqrt{D_i t + t^2 - D_i P - P^2} \qquad (1)$$

显然对一定内径（D_i）和壁厚（t）的筒体，可计算出钝边在一个柱面内可开孔的最大尺寸。接管、人孔筒节一般用手工电弧焊焊接，坡口钝边 P 一般为2mm，按式（1）可计算出几种常见内径，壁厚的筒体可开孔最大尺寸$\varnothing_{max}$，计算结果见表1。根据此表，可以查出开孔坡口是否可以按上述方法设计、加工。

表1　常见内径、壁厚的筒体可开孔最大尺寸$\varnothing_{max}$

壁厚t / 筒体内径D_i	20	30	40	50	60	70	80	90	100
800	243	305	357	404	447	487	524	560	594
1000	271	340	398	449	496	540	581	620	657
1200	297	371	434	490	541	588	632	674	714
1400	320	400	468	528	582	633	680	725	767
1600	342	427	499	563	621	674	724	772	817
1800	362	453	529	596	657	713	766	816	863
2000	381	477	557	628	692	751	806	858	908
2400	417	522	609	686	756	820	880	936	990
2800	451	563	657	740	815	884	948	1009	1066
3200	482	602	702	790	870	943	1012	1076	1138
3600	511	638	744	837	922	999	1072	1140	1205

开孔坡口钝边在一个柱面内坡口特点：

（1）钝边及钝边两侧的坡口面的每一个加工轨迹为一个以开孔中心为　（下转第67页）

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

果能达到≤0.001%，则更好；

（2）限制钢中磷含量，例如≤0.008%；

（3）限制钢中氧含量，例如≤0.002%；

（4）在满足厚度与所需力学性能的同时限制碳含量。

因此寻求安全可靠的气瓶材料是目前的研究课题。对于钢质气瓶，要求钢的纯净度好，韧性高，延伸性能好，表面质量好。如选用钢的断裂韧性很高，临界裂纹尺寸大于壁厚，使用中即使发生裂纹扩展，裂纹穿透壁厚仍达不到临界裂纹尺寸，只会发生泄漏而不会发生因裂纹达到临界尺寸引起的爆炸，即“只漏不爆”。

因此气瓶制造厂不单对钢厂提出用于钢质气瓶的钢号和相应制造、验收技术标准要求，而且还应对钢中有害杂质元素（如S、P、O）含量、钢的表面质量和力学性能指标提出严格控制要求。如将硫、磷含量限制在≤0.01%；提高钢交货时的δ_5和A_{KV}指标，如δ_5提高到不小于18%；要求钢表面不得有任何气泡、裂纹、结疤、折叠、分层、夹杂、表面光洁且不得进行修补；适当降低含碳量，如选用30CrMo等材料，将材料热处理后的实际最大抗拉强度值控制在不大于880MPa，对于经调质处理的材料，屈服应力的最大保证值不得大于最小抗拉强度的85%，屈服应力实测值和抗拉强度实测值之比不得大于92%。

3　结语

（1）试验分析证实、多数CNG钢瓶爆炸事故是由氢致裂纹引起，是在特定环境（硫化氢腐蚀）和钢瓶主体材料（高强度合金钢）不相适应的情况下，由于交变应力与硫化氢腐蚀介质共同作用于使用过程中产生的。

（2）对于压缩天然气，要严格控制水份和H_2S气体含量。

（3）改善钢瓶表面质量，提高材质纯净度，提高冶金质量，控制夹杂物含量，消除偏析，细化晶粒。

（4）加强车用钢瓶在车辆上的固定，尽量减少震动，共振以及与周围物体的碰撞。

（5）寻求安全可靠的气瓶材料。对于车用瓶，为了使用安全可靠和减轻瓶体自身的重量，可考虑采用铝合金和其他材料（如碳纤等非金属材料）作为气瓶新材料；对于站用瓶，可考虑采用无缝气瓶常用的碳钢和碳锰钢材料，或者用低碳钢或低合金钢制压力容器代替站用瓶。为了防止钢材受到腐蚀，可在瓶或容器内表面用涂层法形成保护膜，使钢材与H_2S环境隔离。

（6）在用CNG钢瓶必须进行定期检验，定检周期据实际情况适当缩短。定检中应准确测定容积残余变形率，超过10%的必须报废。

（上接第41页）圆心的圆，钝边及坡口面是由这些加工轨迹形成的旋转曲面，钝边及坡口面在这个旋转曲面内的所有加工轨迹为圆，因此用镗床可很方便加工出来，节约大量的工时。

（2）钝边两侧坡口深度在不断变化。

（3）由于钝边在一个柱面内，焊接位置为平焊，容易保证焊接质量。

（4）此坡口为双面焊坡口，焊接时一侧先焊，反面清根后焊，因此只适用于筒体直径足够大，且结构允许从筒体内部施焊的场合。

我们曾将这种筒体开孔坡口设计的新方法应用于一些重要的核容器、压力容器和不锈钢设备的生产。在坡口加工生产中，较原来的坡口加工方法（马鞍形坡口）大大提高了生产率。焊后经X射线超声探伤，发现焊接质量也有较大幅度的提高。

3　结论

压力容器筒体开孔坡口的设计应从制造加工的角度出发，尽量设计成坡口面为单V型或K型坡口，如果采用镗床加工坡口且容器结构允许从内部施焊，尽量将坡口钝边及坡口面设计在一个旋转曲面内，使其每一个加工轨迹为圆，以提高工作质量及其效率。（徐编）

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

●GB150—89 钢制压力容器修订要点综述

本文介绍了国家标准GB150—89《钢制压力容器》的修订情况，给出了此次修订的修订原则、主要技术内容及对部分修订内容的解释。结合近年来在设计、制造和使用过程中积累的使用经验，讨论了将来GB150及以GB150为核心的标准体系的发展趋势。

●ASME 锅炉及压力容器规范（1998版）第Ⅷ卷的重要修订

本文综述ASME第Ⅷ卷锅炉及压力容器规范在设计、制造及压力容器的管理和技术方面的重要修订，补充和最新进展。

●腐蚀疲劳裂纹扩展的在线监测及频率影响

在分析了腐蚀疲劳裂纹扩展数据处理的一般方法之后，提出腐蚀疲劳裂纹扩展数据处理和在线监测的神经网络方法，这种方法弥补了现有疲劳裂纹扩展数据处理和在线监测方法的不足。

●临氢设备用14Cr1MoR钢板性能研究

本文详细地介绍了临氢设备用14Cr1MoR特厚钢板的性能研究结果。综合性能研究表明：研制的14Cr1MoR钢板成分均匀，钢质纯净，夹杂物少；钢板各部位性能均匀，各向异性小；并具有良好的抗层状撕裂性能和良好的抗回火脆化能力，组织致密，综合性能优良，达到了国外进口钢板实物水平。

●交直两用优质低氢超低氢系列焊条的研制及应用

本文介绍了交直两用优质低氢超低氢系列焊条的研制及应用情况。研制结果表明：该系列焊条焊接工艺性能优良，主要技术指标达到了国外同类产品的先进水平。

●高韧性－70℃低温钢板09MnNiDR的性能

本文研究了高韧性－70℃低温钢板09MnNiDR的力学性能和焊接性能。研究结果表明该钢具有优异的低温韧性和优良的焊接性能，是制造低温压力容器的理想用材。

●日本开发的压力容器Cr-Mo钢数据库简介

本文对日本科学技术公司开发的压力容器用Cr-Mo钢数据库系统的数据结构、数据分析方法以及计算机软硬件系统作了简要介绍。

●压力容器筒体开孔坡口设计加工的新方法

本文针对压力容器用筒体开孔坡口的设计加工进行了分析研究，提出了筒体开孔坡口设计加工的新方法并应用于生产实践中，大大降低了开孔坡口制造加工的难度，提高了工作效率和质量。

●地埋式特大型贮罐制造

本文对地埋式特大型贮罐的结构特点、材料选择，成形装配，焊后热处理、水压试验地面承载设计及设备整体拖运上船等关键因素进行比较系统的阐述。

●中变炉的焊接制造

中变炉是某化肥厂国家“851”改造工程的重点设备之一，属大型化工容器。本文介绍了设备焊接性分析及焊接规范的确定，针对焊接和制造的难点，采取了一系列有效的措施和方法。

●CF-62钢制1500m³乙烯球罐组装工艺

本文介绍了首台国产化钢制1500m³乙烯球罐的组对安装工艺过程，采用内设伞形架、外设防护棚兼作脚手架的散装成形法的组装工艺，达到了组装速度快、质量好、降低造价的目的。

●在用YSP-10钢瓶的可靠性综合评定（二）——钢瓶剩余寿命的预测

通过对在用YSP-10液化石油气钢瓶预定寿命的考核试验，预测了钢瓶的剩余寿命，结果表明，现有在用钢瓶在正常工况下仍有足够的剩余寿命。

●输油管线的安全评价和寿命预测

对含焊接缺陷的某输油管线爆管取样进行了试验和分析。在此基础上，对工作压力周围的压力波动和停输两种载荷条件下管道的疲劳寿命采用Paris疲劳裂纹扩展模型进行了预测，结果表明管道至少可安全运行8～16年。

●气化炉的评定与修复

本文简要介绍鼓包伴随开裂的气化炉的检测、分析及现场修复。

●锅炉汽包开孔处的裂纹分析和修复

根据宏观检查、化学分析、金相检验和裂纹断口分析表明某锅炉汽包上产生的裂纹主要是由于循环水的温差应力引起的。并提出了一些有效的处理方法。

© 1995-2004 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.