

受压容器设计资料

(译文集)

第七輯

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

内 容 提 要

本资料系根据 1969 年“第一届国际压力容器会议论文集”有关文章
选译, 可供压力容器的设计、制造和科研人员参考。

受压力容器设计资料(译文集)

(七)

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

(上海南京西路 1856 号)

国营海峰印刷厂印刷

一九七四年一月

工本费: 0.50 元

毛主席语录

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。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

说 明

本设计资料系根据 1969 年“第一届国际压力容器会议论文集”(First International Conference on Pressure Vessel Technology) 有关文章选译。原书共三册(英文), 包括了石油、化工受压容器的设计、制造、检查等有关文章。在一定程度上反映了最近的国外水平。遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导, 我们选择其中实用价值较大的文章, 组织有关科研、设计、学校及工厂等单位翻译, 本资料分九辑陆续出版。在每篇译文后附有该篇文章在原书中的序号, 便于读者查对。

对于一切外国的东西, 必须根据我国具体情况, 决不能生吞活剥地毫无批判地吸收, 本设计资料仅供设计参考。本资料在内容上和翻译上有不妥的地方, 请随时给我们提出, 以便今后进一步改进。

在翻译过程中得到有关单位的大力支持, 特此致谢。

上海化学工业设计院石油化工设备设计室

1973.10.

目 录

1. 层板压力容器的破坏	1
2. 焊接缺陷对高频疲劳性态的影响	7
3. 多层钢结构大型压力容器的发展	15
4. 应用弹-塑性分析于准球形碟形顶盖的设计	24
5. 用电阻探头检验核反应堆容器的探伤技术	32

层板压力容器的破坏

摘 要

当量厚度相同的多层钢制壳体和单层钢制壳体破坏性能对比表明,当每层厚度小于0.25吋时,韧性转为脆性的过渡温度有所降低。这是因为在薄层中裂缝前沿的应力接近二向应力,这有利于韧性的传递。对一些外径6吋,壁厚0.5吋,器壁上开有轴向切口并由此引起裂缝的软钢柱形容器作了试验。单层容器的过渡温度为 0°C ,总厚度相同,共六层的层板容器的过渡温度降为约 -100°C 。

温度接近 -100°C 时,单层壳体裂成多片,温度低于 -25°C 时,单层壳体裂缝开叉得很明显,但在多层壁中脆性裂缝却无开叉迹象。温度 -35°C 时,在某层上起始的脆性裂缝,当它进入毗邻的层壁部分后,在0.5吋范围内被约制住。

本文对部分充气试验和全部充气试验作了比较,还讨论了层板压力壳体的用途。

序 言

多层压力容器已被使用很多了。涉及Jasper和Scudder一文^[1]的A.O.Smith的设计是一只承受纵向应力和周向应力的多层壳体,由层板包扎和焊接组成,板厚一般小于0.25吋。多层原则尔后的发展有联合结构技术^[2,3,4],加强圆环^[5]和板条包扎^[6]。

多层结构主要优点是,它比整体锻造更易于制成厚壁壳体。然而,这样的结构形式在其他诸方面亦有渴望之价值。Mantle诸位^[2]阐明了多层容器焊接中的某些优点并强调指出了应用薄板随之而来的许多金属学方面的好处,本文集中讨论使用多层壳体替代均质厚壁壳体后产生的一个主要的金属学方面问

题——对脆性破坏方式的抑止。

厚壁压力壳体(这里也包括管件)破坏时,不断伸展的裂缝的前沿处于三向受拉状态,因而有利于产生脆性破坏方式。在一相当薄的壳体中,这样一个三向应力松弛成二向应力状态,这就有利于韧性破坏而并不有利于脆性破坏。由相当薄的薄板,彼此连接较弱,制成的厚壁容器中,应仍保留有这样一个优点,这是因为在裂缝处生成的应力将使该处松开成各个薄层。

Embury诸位^[7]证实了,若用厚度较薄的软钢多层组成一厚壁部分,其韧性将有所增加。用软焊料或银焊连接薄薄的多层,以此制成的Charpy冲击试件(每边10毫米的正方形)试验结果表明,韧性至脆性的转变温度随着各层厚度的减小而有显著的降低。

试验了两种型式的试件,所谓“裂缝约制器”层板和“裂缝分界器”层板(图1)。后者描

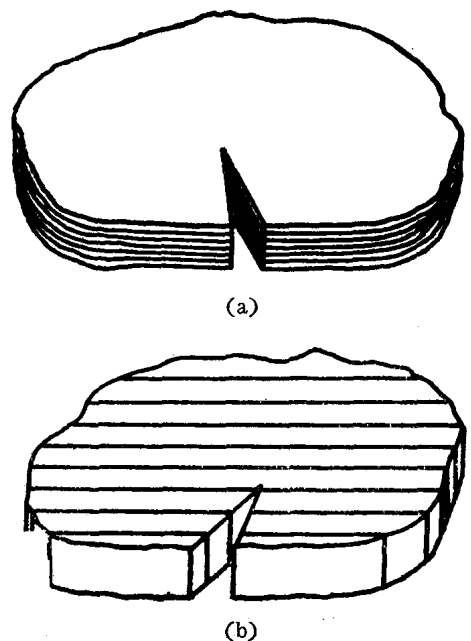


图1(a) 裂缝分界器; (b) 裂缝约制器层板

绘出裂缝沿一多层压力容器壳体伸展时所能见到的几何形态。裂缝分界器层板的转变温度的变化(图2)表明,用单层厚度0.06吋组

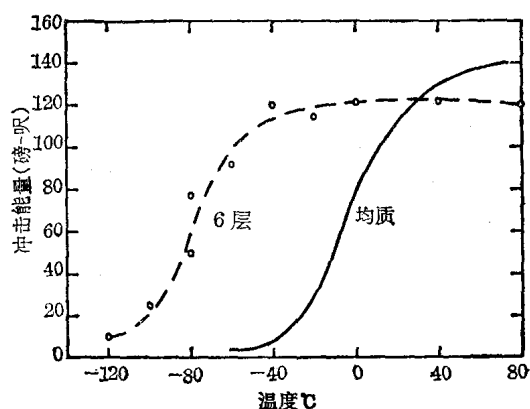


图2 均质试件及以银焊连接的6层层板试件的 Charpy 冲击能量——温度曲线

成的试件,其韧性至脆性的转变温度(数值,40 呎-磅)为 -90°C ,而同类钢制成的均质单层试件的转变温度为 -5°C 。各个薄层是从用作均质单层试件的同类钢板上通过机械加工取出,因此,可以相信,转变温度的任一变化都仅是层厚减少所引起的。温度在 -80°C 以上,六层试件的破坏完全是韧性的,裂缝向前伸展所到之处,各层松开,在每层上产生剪切唇口。层板厚度减小,约为0.25吋时,使韧性至脆性的转变温度降低的叠层效果就开始显著了。

受压柱形容器的试验

作冲击试验是很方便的,但是,若要对比大尺寸的均匀试件和多层试件的破坏形式,还是实际应用层板为宜。这里选用具有纵向切口的柱体,受内压爆破,进行研究。这种情况除切合实际外,还有这样的优点:可以很方便地小规模地制成层板柱形容器,只要把一些尺寸紧密配合的同心管滑配合组成而不需用其他连接方式。

柱形试件长18吋,内径5吋,壁厚0.5吋,用热成形的无缝钢管(B.S.3602:1962)制

成。多层柱体是用壁厚0.083吋的六个同心管制成。这些同心管是从内径分别为5吋和5.50吋,壁厚0.25吋的两只钢管,机械加工制成。在制造实壁柱体和层板柱体时,必须注意使其具有几乎相同的金属学特性。

这些试件的构造和密封示于图3中。管件两端用封盖封住,用滑动液力密封。用一根中心拉杆固定住这两只封盖的位置,中心杆支承作用在封盖上的纵向载荷。在一只封盖上开有流体入口和压力计接口。

用 $\frac{1}{2}$ 吋铣刀在柱壁中央开通一2.25吋的轴向切口,使用手锯,使切口末稍垂直于管件表面,宽度为0.032吋。在柱体内层表面按置一密封层,密封此切口,在柱体受压时,密封层可沿柱体表面自由滑移,因此并不支承周向应力。

试件用液体加压。为了防止在管件变形时周向应力过快地松弛,在温度处于 $+25^{\circ}$ 至 -120°C 范围内进行试验之前,在每个柱体中塞进一只密封充气囊,其所占容积约为柱体容积的10%。除了压力计读数之外,在管件表面装有一个1毫米的摄影底片,通过其变形指示出切口周围的塑性变形,用摄影机记录之。在切口一端按置一引伸仪,由此连续记录切口开口的位移。

韧性至脆性的过渡

单层容器

容器受压时,切口张开,在切口两端发生塑性变形。在 5°C 和 25°C 时,发生韧性破坏,原继续运行,切口则缓慢地延伸,直至密封不再能抵抗变形。密封失效后,切口就不再延伸。

在 0°C 和 0°C 以下,突然从变形的切口处展现出轴向脆性裂缝(裂开)。在 -68° 和 -120°C 时,迅速伸展的脆性裂缝开叉,造成大面积的破坏。因此单层容器的韧性至脆性的转变温度约为 0°C 。

层板容器

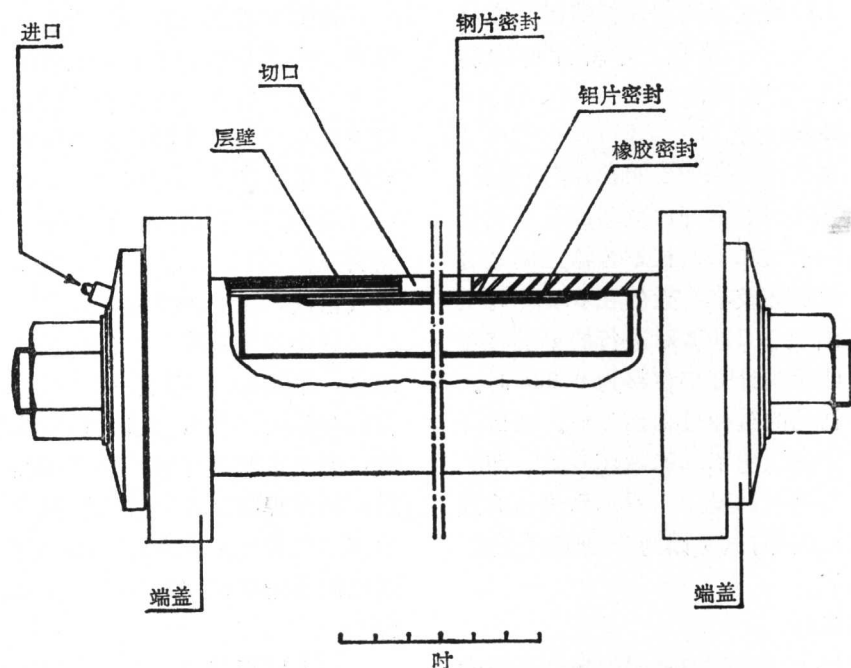


图3 柱形试件的结构

试验进行到 -72°C ，在每层中都能看到稳定，缓慢生成的带有剪切唇口的韧性破坏。由于密封失效，裂缝就停止生成。取用更低的温度， -105°C 时，开始0.25吋破坏是韧性的，然后变成脆性，一直伸展到密封两端，

使柱形容器内层暴露了出来。压力因此下降，裂缝停止伸展。因此，层板管件韧性至脆性的转变温度在 -72°C 和 -100°C 之间。

图4所示是一只破坏了的柱形容器的形状。把壁厚0.5吋的管件分成六层，由此得

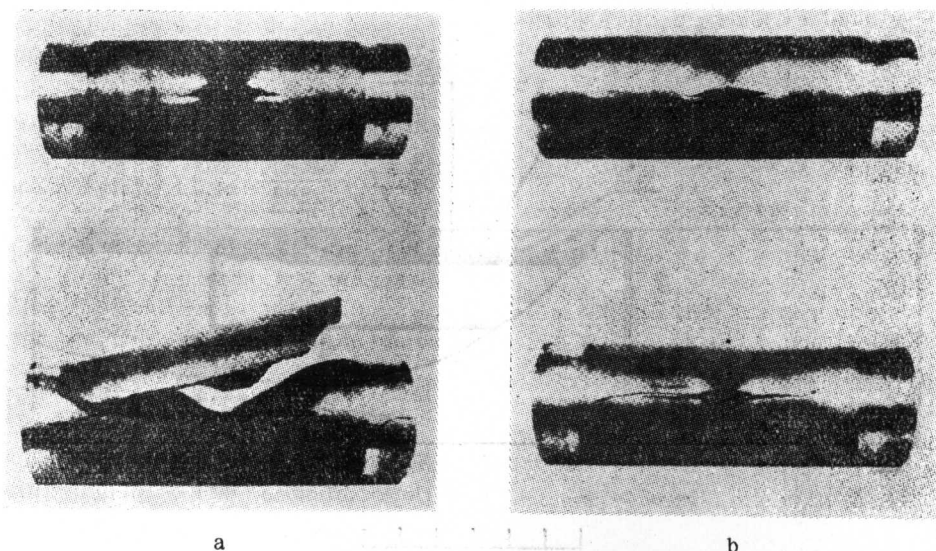


图4 受毁柱形容器

(a) 单层， 25°C (上)， -120°C (下)； (b) 多层， 25°C (上)， -105°C (下)。

出的塑性至脆性转变温度的降低情况与六层
裂缝分界器 Charpy 试件破坏中所看到的转
变温度降低情况^[7]相同。

裂缝开口的位移

Almond 诸位的结果^[8]表明,破坏开始时,
因温度变化导致的裂缝开口位移的差别是比
较小的,同时单层和多层柱形容器之间裂缝
开口位移的差别亦较小。数值在 0.048 吋至
0.073 吋范围内; -120℃ 时进行的单层容器
试验例外,此时裂缝开口位移为 0.038 吋。
因此,切口初始的延伸是韧性破坏。切口开
始延伸后,才展现出不同的破坏方式,即脆
性或韧性。在这些试验中,看不到快速的或
不稳定的韧性破坏,这是因为一旦密封失效,
压力就消释了。

裂缝约制器试验

当温度处于多层壁和单层的韧性至脆性
的转变温度之间时,在单层壳体上保持开裂
破坏的条件在相应的多层壳体中可能使裂缝
约制住。在某层中裂缝快速裂开,在其毗邻
有一相应的多层壁,当裂缝越过其接界处,
必被约制住。因此也就限制了破坏受毁,不
致传开。

这样的效果已在一组合管(外径 6 吋,长
24 吋,受部分气体压力)中获得了证实。这一
试件的中段是单层管,长 8 吋,壁厚 0.5 吋,
其上焊有二段长 8 吋,总壁厚相同的六层层
板管。单层段中央开一长 0.25 吋的轴向切
口,在内层进行密封,密封面一直遮盖到旁
侧层壁段(图 5)。封头与前述的 8 吋管封头
形式相同,试验步骤亦相同。

试件冷至 -35℃, (韧性至脆性的转变
温度,单层 0℃, 多层 -100℃) 加压至破坏。
在 8,200 磅/吋² 时,从切口处扩裂出脆性裂
缝,裂缝很快地伸展了 1.25 吋后,开叉,尔
后,越过焊接区域,进入层板部分。在这段
中裂缝又伸展了 0.5 吋,即被约制住。此处
适足以暴露切口密封的两端,而导致降压
(图 6)。

进入层板段后,破坏形式由脆性转为韧
性,每层破坏后展现有剪切唇口。在 -30℃
进行试验的,长 18 吋的单层管试件中,脆性
裂缝一直扩裂至柱体两端,此时破坏压力为
7,850 磅/吋²。

显然,当存在急剧降压的情况下,层板
壁将起着制止裂缝扩裂的作用。

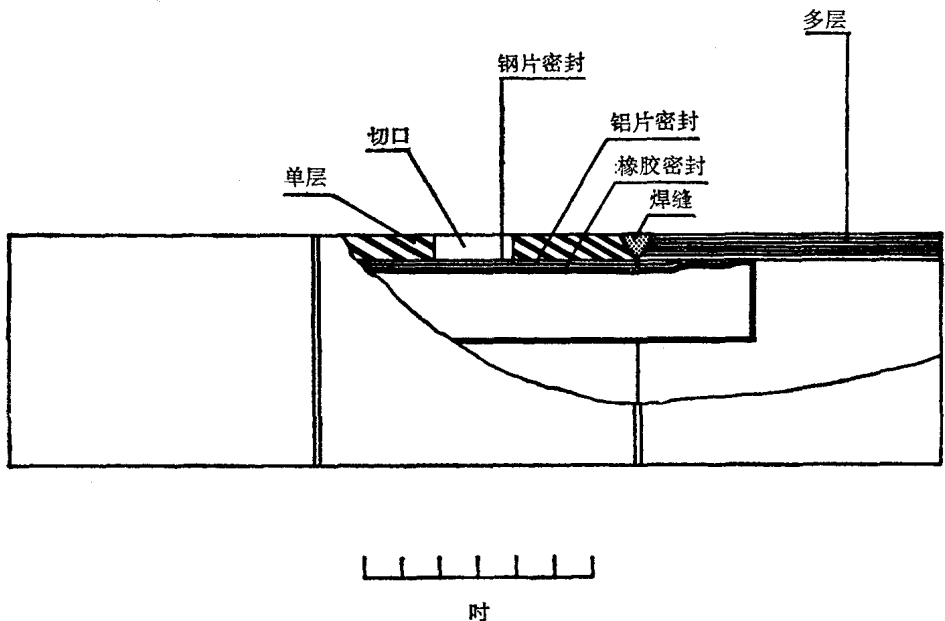


图 5 柱形裂缝约制器试件的结构

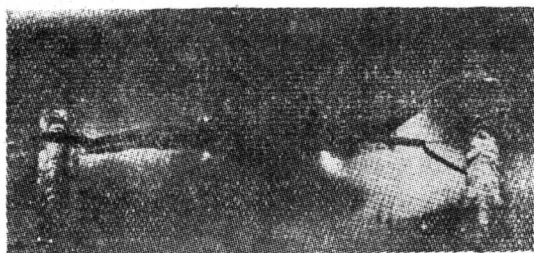


图6 -35℃时裂缝约束制器试件的破坏

气体爆破试验

大尺寸全部充气状态是一个比液压试验更为严格要求的层板破坏特性试验，这是因为随泄漏而形成的压力降低的速率是比较小的。

一个多层软钢容器，受气体压力作用，在-35℃温度下进行试验，观察其破坏情况，试件中的层板柱形容器是一个用2毫米软钢板卷成的，外径18吋，6呎长的六层柱体。六层是一层接一层单独缠上去的，在缠另一层之前，前一层先进行焊接。焊缝四周铲刮齐整，使各层之间没有解带存在。

破坏起源是一2.5吋的中央轴向切口，用手锯在壁上切出，以前述方式进行内部密封。柱体上焊有两只碟形实壁封头，其一中央开有压力气体进口，切口密封长3呎，使压力损失在裂缝加速伸展时得能减小。容器在水平位置上进行试验。大体布置如图7所示。

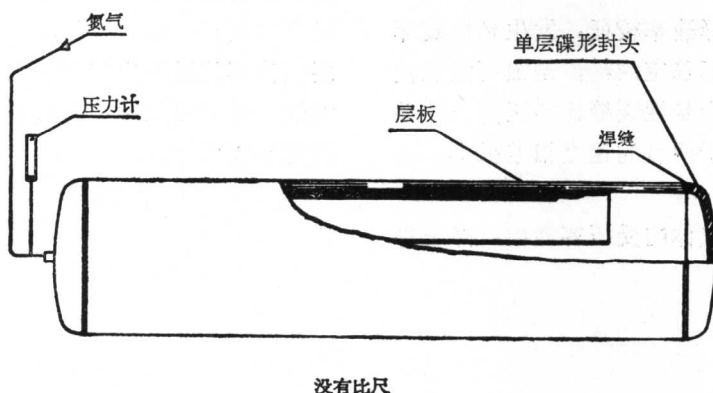


图7 充气加压试验容器的结构

示。

由氮气储罐中输出氮气，输出压力2,500磅/吋²，加压容器。记录压力数值，并通过摄影，观察切口情况。压力在2,090磅/吋²时，存在韧性破坏，一直伸展到碟形封头处，在单层壁中变成脆性破坏，裂缝开叉，重返层板部分，该处裂缝意外地被约束住。虽然破坏是韧性的，但破坏进行得很快，开始就不稳定。每层都有剪切唇口，同时引颈情况比部分充气试验中任意一层中存在的更为明显。

容器毁坏了，但是没有碎片。比较柔韧的薄层壁使壳体脱卷松开，摊开在原容器竖立的平台上。图8所示是破坏了的容器。

对彼此无连接的六层试件（因而是非标准件，总厚度0.47吋）作了Charpy试验。层板材料的韧性至脆性的转变温度为-79℃，碟形封头材料的转变温度为-0℃。

因此，试验温度处于层板转变温度和碟形封头的转变温度之间，不管破坏速率多大，没有飞出散片。

现正在更低的温度下，作深入的试验。

讨 论

应用多层壁，使其韧性至脆性的转变温度与相应的单层壁相比，有显著的降低。这就带来如下两个重要的好处：

(1) 在低温下，局部引成的破坏也能得



图8 充气加压试验容器在 -35°C 毁坏后的状况

到约制。

(2) 由于韧性材料上不存在裂缝开叉情况, 因此, 裂成多片的可能性就仅局限于比相应的单层的温度更低的范围内。

然而, 多层壁的效能同开始破坏时降压速率有关。

充液加压和充气加压是压力损失快速和缓慢的界限。充液加压的韧性壳体的破坏能很快地被约制住; 而相同的脆性壳体却出现大面积的毁坏。McClure 诸位应用充气加压得出的有关单层管破坏的著作^[9]阐述了破坏过程中降压速率的极限情况, 证实了降压速率的重要性。

气体加压管中裂缝开裂要比气体从破坏区域耗散时气体卸压前沿移动得快, 因此, 裂缝前沿并不受到压力消释的影响, 裂缝将继续伸展一段距离。

由于压力消释速率较低, 发生韧性破坏处的破坏情况是不稳定的, 但是很可能就被约制住, 这是因为韧性裂缝比卸压前沿移动得慢。但是, 由于两者的速度相差很小, 因韧性破坏可能长一些。

在自身充满气体的受压容器中, 降压将

在约制快速伸展的韧性裂缝方面更快地发挥作用, 这是因为内盛气体的容积是有限的, 在整个壳体上都会感到此压力降。因此, 韧性裂缝在还未越出受损壳体边缘之前就被约制住, 因而避免裂成多片。应用多层结构, 在低温下, 就有此好处。

表1

壁 型	$T_0^{\circ}\text{C}$	液 体 加 压	气 体 加 压
单层壁, $>T_0^*$ (厚度 $>1/4$ 吋)	$\sim 0^{\circ}\text{C}$	稳定的韧性破坏, 裂缝很早就被约制住	不稳定的韧性破坏, 裂缝向前伸展
单层壁, $>T_0$ (厚度 $>1/4$ 吋)		低温时(以及在薄壁中), 分裂破坏, 裂缝开叉, 裂成多片	分裂破坏, 大面积的裂成散片, 总毁坏
多层壁, $>T_0$ (厚度 $>1/8$ 吋)	$< -70^{\circ}\text{C}$	稳定的韧性破坏, 裂缝很早就被约制住	目前的工作(不稳定韧性破坏; 无散片裂缝向前伸展蔓延)
多层壁, $>T_0$ (厚度 $>1/8$ 吋)		分裂破坏, (低于 T_0 温度时有可能开叉, 程度尚好)	分裂破坏, (没有裂成多片的迹象)

* T_0 ——估计的韧性转为脆性的转变温度

总 结 和 讨 论

表1中归纳总结了钢制压力壳体受液压和气压作用下预期的破坏形式。显然, 温度处于单层壁和多层壁的韧性转为脆性的转变温度之间时, 在液压状态或气压状态下, 多层壳体都能显现出某些优点。亦有这样的可能性, 温度更低时, 有可能减少裂缝分叉和避免裂成多片。

(原文 11-59, 浙江大学洪加智译)

焊接缺陷对高频疲劳性态的影响

摘 要

我们已经完成了关于有规则的焊缝缺陷的圆柱形容器的许多疲劳试验。已经完成了三种缺陷类型的试验：夹渣，疏松和未焊透。所有缺陷位于纵向焊缝。

长度约 3 米，直径 60 厘米、壁厚 18 毫米的软钢容器，加压频率约 15 次/分，压力在 $p/10$ 和 p 之间。在试验以前所有缺陷都进行 X 光照相和超声波探伤。

已经试验的约 566 个夹渣点，参杂夹渣的总表面约 80 厘米²，夹渣点的大小在 1 和 150 毫米² 之间变化，业已试验的约有 6,000 个小孔，直径在 2 毫米以下和近似于 IIW Collection 的棕褐色软片。对表面和掩蔽的缺陷中未焊透部分的长度和高度都进行了检查。

若取疲劳寿命 10^5 次作为破坏准则，试验结果指出横截面约 30 到 50 毫米² 的夹渣，周向应力达到 24 公斤/毫米² 时，有 2% 的破坏可能性。

尽管考虑了疏松，其疲劳寿命没有受这种缺陷所削弱。对带有未焊透缺陷的焊缝，试验结果证明，仅当未焊透长度大于 10 毫米时，疲劳寿命有所减小。

引 言

大量的研究论文已经证明焊缝缺陷既引起疲劳裂缝又引起脆性破坏，然而在某些特殊应用中如果焊缝缺陷不削弱结构强度，则可允许存在。

在这种情况下，容许缺陷存在是既经济，技术上又可取的，这是因为所有修补是不完美的。

本文研究范围是为下述情况的压力容器

找出一个允许焊缝缺陷存在的标准。

(1) 静载荷作用的压力容器，指的是容器所受的载荷循环数目被限制在一个规定的最小数值(循环的最大数值是按照 B. S. 1515 和 ASME 锅炉的第三部分和压力容器规范)。

(2) 材料：低碳钢。

(3) 没有考虑蠕变影响。

众所周知，由小试件静态试验或疲劳试验所得到的试验结果不能直接用来确定压力容器的强度值。另一方面的目的是：我们对大量的缺陷进行试验，以便求得统计上可行的数值，为了满足这个试验情况，许多缺陷位于压力容器的纵向焊缝。

试 验 实 例

材料

所采用的材料是软钢 A42C1 GAPAVE 规格 №121 化学分析和机械性能列在表 1 和表 2 中。

表 1 化学分析

C	Si	Mn	P	S
0.14	0.21	0.58	0.016	0.024

压力容器尺寸

压力容器尺寸(图 1)是：

- (1) 长度 3,000 毫米
 - (2) 容器筒体壁厚 18 毫米
 - (3) 直径 600 毫米
 - (4) 半球形顶盖壁的厚度 20 毫米
- 容器在制成以后，没有进行热处理。

表 2 机械性能

板 号	试 样 方 向	拉 伸 试 验			冲 击 试 验	
		曲 服 应 力 (公斤/毫米 ²)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (10 毫 米, %)	却 贝	却 贝
					(公斤-米/厘米 ²)	(公斤-米/厘米 ²)
					+20℃	-20℃
1	// 轧制方向	27.8	43.8	36	—	—
1	⊥ ”	29.2	44.0	30	—	—
2	// ”	28.3	42.9	38	17	13.9
2	⊥ ”	28.0	43.4	35	7.5	4.3

焊接准备

沿四个母线焊上 V 形对接焊缝, 此四个母线 (带有纵向集合焊缝) 在容器上各相隔 72°。根据焊接缺陷沿每一条母线作成不同长度的 V 形坡口 (图 2 和图 3)。

这样试件长度被划分为 10 个环, 每一环有具有类似缺陷的焊缝。

焊接填充材料

按照比利时规格 NB5643 采用的填充材

料是低氢焊条。填充材料的机械性能列于表 3。

前后焊五道, 才焊成一条焊缝。最后一道用 rutile 焊条。

表 3 填充材料规定的机械性能

拉 伸 试 验			冲 击 试 验
屈服应力 公斤/厘米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 ($L=5d$)	却 贝 V 公斤-米/厘米 ² -20℃
37—43	48—52	27—33	3.5

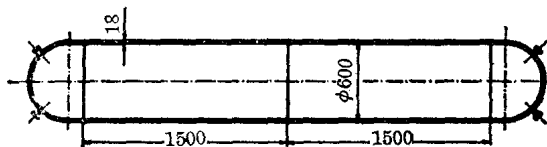


图 1 试样

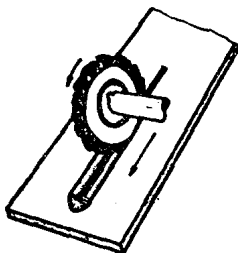


图 2 制作的压力容器坡口

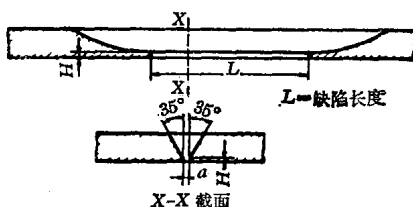


图 3 坡口的纵向和横向截面

试验程序

容器因一条焊缝泄漏引起破坏后, 把破裂了的这一环割去, 同时把试件两段剩余部分再焊在一起, 以便继续疲劳试验。

焊接缺陷的叙述

压力容器 1 和 2

两个压力容器尽可能做成一样。焊缝里含有夹渣和疏松。在图 4 展开了的壳体上表明了焊缝尺寸, 两个试验焊缝之间无缺陷的距离是 200 毫米。

焊接后把溶渣留在里面就得到夹渣, 在截面 A 和 C 上每一道焊接后, 制成夹渣。在截面 B 和 D 上夹渣仅是在第一道和第三道焊接后才制成。

利用湿焊条就可得疏松, 在截面 E 和 G,

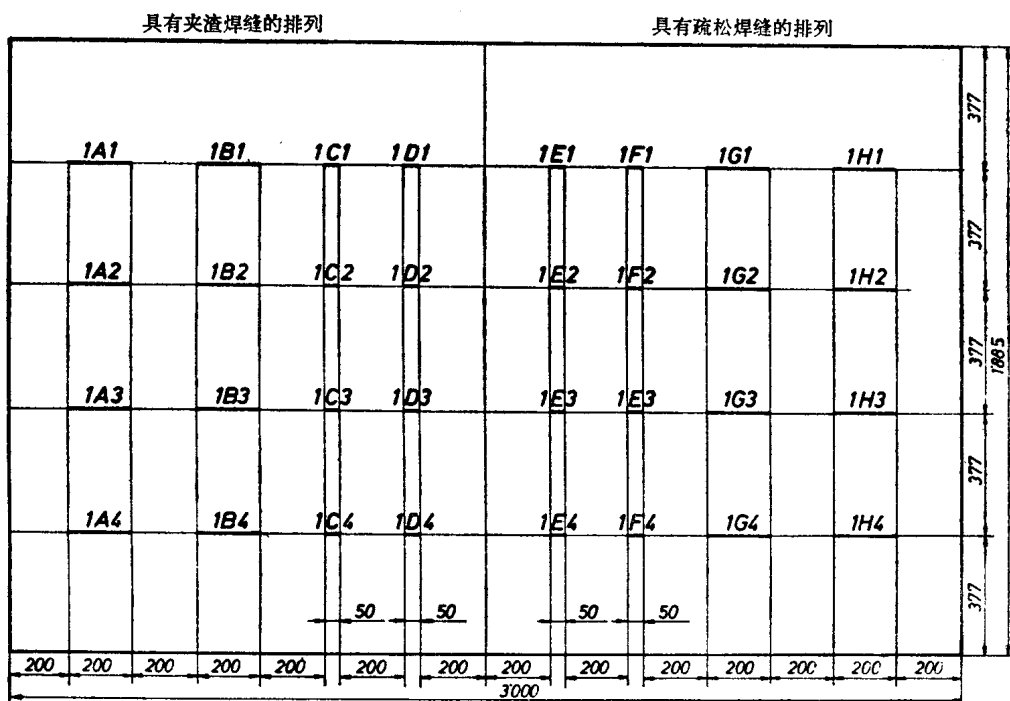


图 4 展开成的压力容器表面

仅仅在第二和第四道焊接时才这样焊接的，在截面 F 和 H 除第一道以外其他各道都用湿焊条进行焊接，在试验以前所有焊缝内表面磨成光滑。

压力容器 3 和 4

两个试样是相同的，筒体壁的展开面表明于图 5，仅仅在试件的左边部分是采用垫

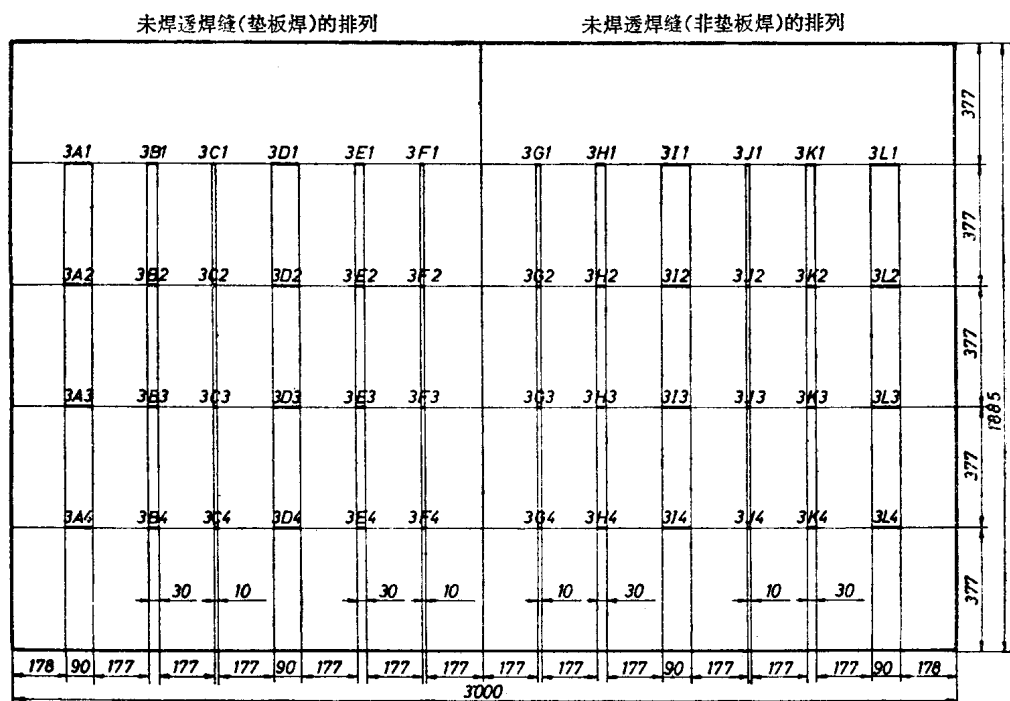


图 5 展开成的压力容器表面

板焊。

焊接的横截面由图 6 给出，没有焊接的截面高度对于无垫板焊是 2 与 4 毫米，对于垫板焊是 3 与 6 毫米。

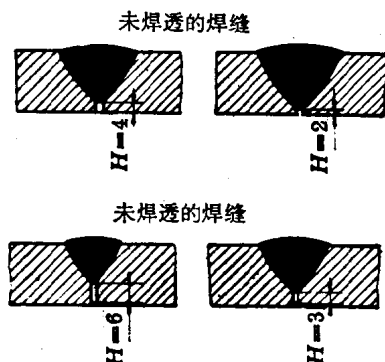


图 6 未焊透的横截面

试验结果

无损探伤

在进行焊接以前，顶盖到壳体，全部缺陷已经进行了 X 光和超声波探伤。X 光软片能使我们确定缺陷的数目和大小。

夹渣

566 个夹渣点暴露在 4 米长的 X 光软片上，夹渣的大小从 1 到 150 毫米² 范围内变化。按照他们的大小和密度，他们比 IIW Collection 的红 X 光软片更坏。按照 ASME 锅炉

和压力容器规范的第 VIII 部分，长度 6 毫米以下的孤立的夹渣在 18 毫米厚度的钢板上是允许存在的。图 7 描绘出夹渣作为其大小(尺寸)函数的分布情况。

疏松

在一个 4 米长的 X 光软片上，发现直径到 2 毫米的约 6,000 个小孔。

这些小孔的密度符合于 IIW Collection 的棕褐色系列。此外，这个密度比 ASME 允许在 18 毫米厚的焊接板上存在的密度为大。

未焊透

大多数国家或者国际标准不允许有任何大小的未焊透，射线照相指出所有的缺陷都有 1 毫米的开口。缺陷的高度和长度大致可由超声波检查来决定，这种形式的四米长的焊缝已作了试验。

破坏试验

压力容器 1

压力容器 1 已在 2.4 和 24 公斤/毫米² 之间的一个循环周向应力下破坏。

较多的破裂发生在缺陷上而不全在疏松和夹渣处，这些缺陷和试验结果给出在表 4。

为了避免这些破坏，已把筒体展开并再卷过以使不圆度数值减少到比 1% 更小。

已焊接成的环焊缝第一道在氩气保护下进行。

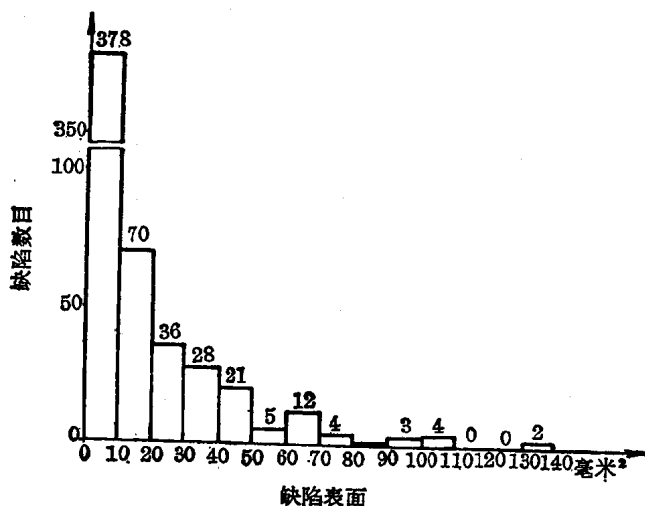


图 7 10 毫米² 表面的夹渣群的分布

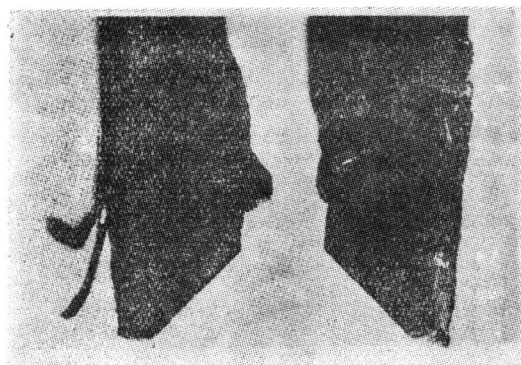


图8 环向焊缝的疲劳裂纹

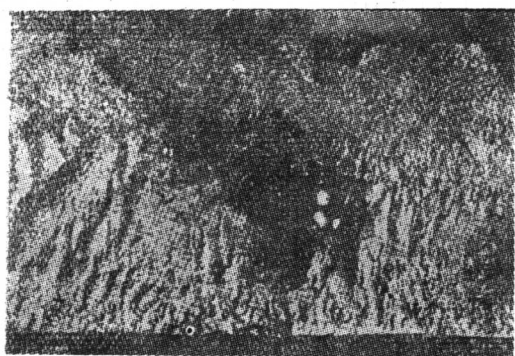


图9 在截面1A2由36毫米²表面的夹渣开始的疲劳裂纹

作了这些措施以后,所有更进一步的破坏发生在焊缝缺陷上。

仅仅一点夹渣就已经很重要了,它能引起疲劳破坏,继而就泄漏。其他的疲劳破坏,大概是从试件的内表面上细小的夹渣和疏松开始的。由夹渣引起的没有导致泄漏的初始阶段的疲劳裂痕也记述在表4中。

当试件在裂开以后发觉大多数疲劳裂纹是从内表面开始发展起来的(图14)。

在207,504次循环后,压力容器1的疲劳试验停止了,所有剩余的试验截面裂开了,这点是肯定了,没有从疏松开始引成的疲劳裂缝。

压力容器2

压力容器2第一次加压到周向应力在1.8和18公斤/毫米²之间。象压力容器1一

表4 压力容器1的疲劳结果

循环次数	破坏位置图(4)	破坏原因
38,047	纵向焊缝	局部不圆度32.5% 筒体的局部扁平部分 焊缝增强
[27,324]*	前次破坏后的圆周 焊缝	局部不圆度
[20,257]	前次破坏后的圆周	局部不圆度1.5% 筒体的局部扁平部分 焊缝增强
[12,916]	前次破坏后的圆周	焊缝增强
98,129	1A2疲劳裂纹的起始点	夹渣(36)(图9)+
"	1A2疲劳裂纹的起始点	夹渣(51)
"	1A3疲劳裂纹的起始点	夹渣(90)
"	1A3疲劳裂纹的起始点	夹渣(102)
"	1A3疲劳裂纹	内表面(图10)
145,531	1G3疲劳裂纹	内表面(图11)
186,626	1C2疲劳裂纹的起始点	夹渣(100)
"	1C2疲劳裂纹	夹渣(131)(图12)
197,986	1B3疲劳裂纹	内表面(图13)
267,504	封头	疲劳试验结束

*[] 瞬时破坏的实际循环数。

+() 夹渣表面从射线拍片中推断。

样,在112,000次循环后,破坏出现在容器的纵向集合焊缝上。

裂缝处的不圆度约是2%,恰同1号试件一样,2号试件完满地进行了修整,以避免破坏不处于试验焊缝上。在145,000次循环后没有疲劳破坏发生,周向应力增加到26.2公斤/毫米²。当再进行到300,000次循环后仍然没有出现泄漏,周向应力又一次增加到28.5公斤/毫米²。

1,000,000次以上循环后,仍没有出现

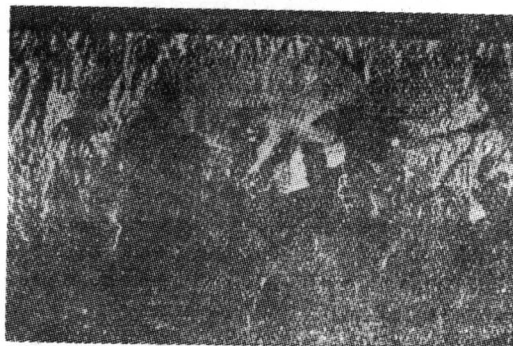


图10 截面1A3上从内表面开始且引起泄漏的放大的疲劳裂缝

破坏, 周向应力再一次被增加到 30 公斤/毫米², 由于这个应力比屈服应力高, 压力容器的变形成为如此重要, 以致必须停止疲劳试验。当试验的焊缝裂开后, 发现了某些微小的疲劳裂缝。所有这些裂缝大致在内表面由微小的疏松和夹渣开始的。

压力容器 3

压力容器加压, 其周向应力处在 1.8 和 18 公斤/毫米²之间。所有的疲劳裂缝发生在有缺陷的焊缝上。这些疲劳试验的结果列于表 5。

表 5 压力容器 3 的疲劳试验结果

循环次数	焊缝形状 V 或 X*	长 度 (毫米)	高 度 (毫米)	裂缝位置 (图 5)
95,82	V	90	4	3 L 4
14,109	V	90	2	3 I 4
39,519	X	90	6	3 A 4
47,993	V	30	4	3 K 1
73,276	X	90	3	3 D 4
149,101	X	30	6	3 B 2
185,222	V	30	2	3 H 2
312,881	X	30	3	3 E 4

* V 是开口焊, X 是垫板焊

这次最后破坏后, 周向应力增加到 27.5 公斤/毫米², 为了继续对剩余部分 (尚有 10 毫米长的未焊透缺陷) 进行疲劳试验, 约 96,000 次循环后, 在 3G2 部分上首先出现疲劳裂缝, 疲劳试验停止进行。

压力容器 4

表 6 压力容器 4 的疲劳试验结果

循环次数	焊缝形状 V 或 X*	长 度 (毫米)	高 度 (毫米)	裂缝位置 (图 5)
10,575	V	90	4	4 L 3
14,752	V	90	2	4 I 3
20,894	X	90	3	4 D 4
25,038	X	90	6	4 A 1
31,036	V	30	4	4 K 4
39,105	V	30	2	4 H 4
44,545	X	30	6	4 B 4
57,274	X	30	3	4 E 4
200,426	没有疲劳破坏			

* V 是开口焊, X 是垫板焊

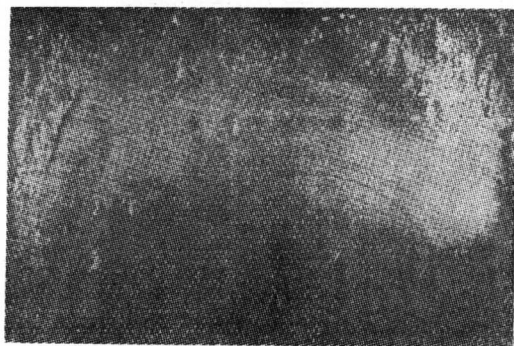


图 11 截面 1G3 上从内表面开始, 引起泄漏的疲劳裂缝(放大)

周向应力在 2.4 和 24 公斤/毫米²之间加压的压力容器 4, 给出了列于表 6 中的一些结果。由于 200,426 次循环后没有出现疲劳裂缝, 疲劳试验停止进行。

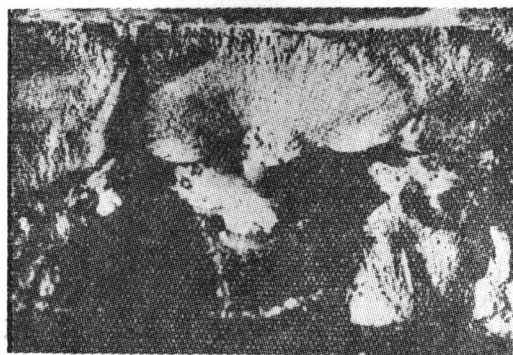


图 12 截面 1C2 上由 131 毫米表面的夹渣开始, 引起泄漏的放大的疲劳裂缝。

讨 论

不发生在试验焊缝上的疲劳破坏

从疲劳试验的结果来看, 似乎表面的缺陷, 象不圆度和补强焊缝, 引起压力容器强度的削弱要比我们所研究的纵向接缝上的焊缝缺陷为大。

夹渣

我们所研究的绝大多数杂质的表面积, 如射线照相所量测的, 在 0 和 30 毫米²之间。

周向应力 24 公斤/毫米²时, 在 200,000