

新版 ASME 法规有关冲击试验新规定的综合论述

A Summary of New Rules for Impact Tests by the
Late Edition of ASME Code

高增福 唐峰

TK22-65

内容摘要: 本文论述了 89 版、92 版 ASME 法规对材料和焊接接头是否要作冲击试验判断原则所作的重大修改,以及如何根据材料类别、材料的强度等级、材料和焊接接头的公称厚度来确定夏比 V 型缺口冲击试验合格的最小能量所制定的新规定。这对制定和修订我国有关法规和标准提供了重要的参考和依据,也可作为有关工程技术人员学习新版 ASME 有关法规的参考文献。

关键词: 法规标准 ASME 冲击韧性 试验

一、前言

美国国家标准—ASME 锅炉及压力容器规范,1989 年和 1992 年修订时,对材料和焊接接头是否要进行冲击试验的原则与 86 年版 ASME 标准相比作了重大的修改,对确定各种情况下夏比 V 型缺口冲击试验的合格最小能量也作了新的规定。这些新规定比原规定更结合实际,更趋于科学性。本文就 ASME 法规有关材料和焊接接头冲击试验的新规定作了较系统的论述,论述就以下几个方面进行:

1. 如何根据容器的最低设计金属温度、材料和焊接接头的公称厚度、容器设计拉伸应力与材料许用拉应力比等因素来确定容器所用制造材料和焊接接头是否要进行冲击试验。

2. 如何根据材料类别、材料的强度等

级、材料和焊接接头的公称厚度来确定夏比 V 型缺口冲击试验所要求的最小能量。

3. 如何根据材料或焊接接头的公称厚度、夏比 V 型缺口冲击试验试样的缺口宽度来确定冲击试验的温度。

4. 材料和焊接接头(包括焊缝及热影响区)冲击试验如何取样(冲击试样的数量及取样位置和缺口方位)。

二、如何确定材料和焊接接头是否要做冲击试验

材料的冲击韧性性能是材料抗脆性破坏的力学性能指标,如果材料制造的产品工作温度较高,容器的材料和合理的焊接接头不会产生脆性断裂,那么对材料就不需要有冲击韧性要求,同样对焊接接头(与材料性能相当的)也就没有冲击韧性要求,因此该材料的焊接工艺评定以及产品的焊接工艺试板就没

有冲击试验的检验项目,这就是说焊接工艺评定和产品焊接试板不一定都要求有冲击试验的力学性能检验项目。只有在根据产品的最低设计金属温度以及其它因素(诸如所选用材料的类别、强度等级、厚度),认为材料有可能产生脆性破坏的情况下,才对材料和焊接接头有冲击韧性试验的要求。国内一些标准和资料认为(不论材料和焊接接头的工作温度及其它性能如何)焊接工艺评定和产品焊接试板都要做冲击试验检验,这是毫无道理的。下面就新版(89、92 两版)ASME—VIII—I 对碳钢、低合金钢、高合金、经热处理后提高抗拉性能的铁素钢用来制造压力容器如何确定是否要做材料和焊接接头冲击韧性试验分别进行叙述。

二、(1) 碳钢和低合金钢

ASME I 卷(钢铁材料篇)中有各种碳钢和低合金钢的制造技术条件,这些技术条件中提供了各种材料的力学性能指标,但是都没有提供冲击韧性性能指标,这就是说,材料供货时,对其冲击韧性不作规定(或保证)。

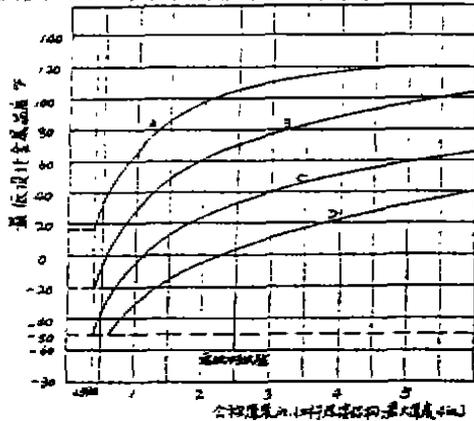


图 1 冲击试验豁免曲线(见 UCS-66(a))

般说来,材料供货不保证冲击韧性指标,采用该材料制造的容器,材料的焊接工艺评定也就无法提冲击的要求。如果设计的容器根据其工作温度等因素,对材料有冲击韧性指标要求时,那么材料采购规范上应附加冲击韧性要求。

对图中曲线所指定的材料的说明:

(a)曲线 A——未列入曲线 B、C 和 D 中的各种碳钢和低合金钢板,结构型钢和棒材。

(b)曲线 B

(1)SA——258 等级 A 和 B

SA—414 等级 A

SA—442 等级 55 厚度大于 1in 且未经细晶化和正火处理。

SA—442 等级 60 未经细晶化和正火处理

SA—515 等级 55 和 60

SA—516 等级 65 和 70 未经正火处理

SA—612 未经正火处理

SA—662 等级 B 未经正火处理

SA—724 未经正火处理

(2)曲线 A 中经细晶化和正火处理的且未列入曲线 C 和 D 的各种材料。

(3)除螺柱处〔见(e)〕,未被列入曲线 C 和 D 中的钢板,结构型钢和棒材以及其它所有形式的产品(如管子,接头和接管)。

(4)UC—11 所许可的零件应属曲线 B,即使是用应属其他曲线的钢板制成的也应属曲线 B。

(c)曲线 C

(1)SA—182 等级 21 和 22 经正火加回火处理

SA—302 等级 C 和 D

SA—336 等级 F21 和 F22 经正火加回火处理。

SA—387 等级 21 和 22 经正火加回火处理。

SA—442 等级 55 厚度小于或等于 1in 时,未经细晶化和正火处理。

SA—516 等级 55 和 60 未经正火处理

SA—533 等级 B 和 C

SA—662 等级 A

(2)曲线B中的各种材料如经细晶化和正火处理且未列入曲线D中。

(d)曲线D

- SA-203
- SA-442 经细晶化和正火处理
- SA-508 级1
- SA-516 经正火处理
- SA-524 级1和级2
- SA-537 级1和级2
- SA-612 经正火处理
- SA-662 经正火处理
- SA-724 经正火处理

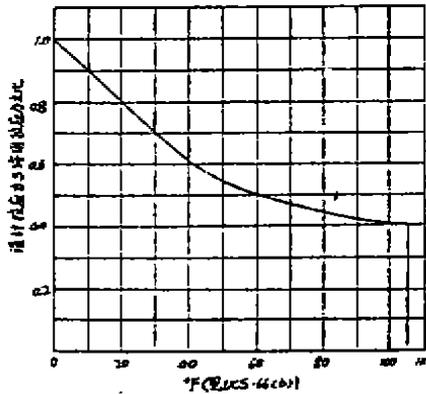


图2 不做冲击试验时最小设计金属温度递变曲线

(e)对于螺柱,下列温度可免做冲击试验:

标准号	等级	免做冲击试验的温度 T
SA-193	B5	-20
SA-193	B7	-40
SA-193	B7M	-50
SA-193	B16	-20
SA-307	B	-20
SA-320	L7, L43	必做冲击试验
SA-325	I	-20
SA-354	BB	-20
SA-354	BC	0
SA-354	BD	+20
SA-449	...	-20

1986年版 ASME—Ⅷ—1册 UCS篇

(碳钢和低合金钢制造的压力容器的要求)中,规定工作温度低于-30℃的压力容器,其材料及焊接接头应进行冲击试验。否则不需要作冲击试验。多年来的研究表明:容器的脆性破坏除了与工作温度有关外,还与材料的化学成份、组织、容器所用材料的厚度以及容器所确定的设计拉应力与所选用材料的许用拉应力之比等因素有关。一般来说,相同材料,使用温度越低,抗冲击力性能越差,但是不同材料在同一温度下抗冲击能力也不相同,不能所有碳钢,低合金钢材料均用-30℃工作温度来确定是否要做冲击韧性试验。材料的使用厚度越大(在其它条件相同的情况下),越容易产生脆性破坏。即使是塑性较好的材料制造的承受高压的厚度容器,有时会产生三向应力相近似现象,不产生滑移塑性变形,而产生脆性破坏,因此材料和焊接接头的抗脆性破坏能力与材料的工作温度、材料的等级、材料的工作厚度等因素有关,根据以上分析,89版、92年版 ASME Ⅷ—1册中对碳钢和低合金钢是否要冲击试验作了重大修改:增加免做冲击试验曲线图即89年(92年)版中的 UCS—66图。见本文图(1),图中横坐标为材料或焊接接头的公称厚度,纵坐标为压力容器的最小设计金属温度。图上有 A、B、C、D 四条曲线。根据图下的注解把 ASME 中的碳钢和低合金钢,按材料的牌号和热处理状态分成 A、B、C、D 四大类。

ASME Ⅷ—1册的 UCS—66节中规定,除特殊情况下,当最小设计金属温度(其定义见 UG20节)和材料及焊接接头的公称厚度的组合点低于该材料所对应的某一曲线时,必须要做冲击试验。如果最小设计金属温度和公称厚度的组合点落在材料所对应的曲线上或高于对应的曲线,可不需要作冲击试验,上面所说的公称厚度,对焊接件来说,对接接头指最厚工件的厚度,角接接头、搭接接头指最薄一侧的名义厚度。

上述的特殊情况指两点:

第一点:对于焊接件来说当公称厚度超过 4 英吋时,不论最小设计金属温度如何,一定要做冲击试验。

第二点:当压力容器的制造材料同时满足下列要求可不进行冲击韧性试验:

- 1、图(1)曲线 A 中的 P1 类材料,公称厚度 $\leq \frac{1}{2}$ 英吋或图(1)曲线 B、C、D 中的 P1 类材料,公称厚度 ≤ 1 英吋
- 2、按要求对完工容器进行水压试验
- 3、设计温度低于 630 F,高于 -20 F (由于低温季度,大气温度的影响,操作温度可低于 -20 F)
- 4、设计要求可忽略热振动或机械振动载荷
- 5、设计要求可忽略循环载荷

89 年、92 年版 ASME—VII—1 册中,不仅按照金属设计温度的高低,而且还参照材料的不同以及公称厚度的大小来确定是否要做冲击韧性试验,比 86 年版的旧标准的有关规定更科学更有效地发挥材料的性能特征,这是一个很大进步。例如非正火的 SA285GrC 钢,厚度为 1 英吋,按旧 ASME 法规,当温度低于 -30℃时才要求做冲击试验,而按新法规,非正火的 SA280GrC 属于 A 类曲线材料,当 1 英吋厚度的钢板其温度低于 20℃时就要求做冲击试验。

下面以渭河工程 E1805 冷热换热器为例来说明如何运用图(1)来确定焊接接头和焊材是否要做冲击试验:

E1805 换热器,主壳体材质 SA516Gr70,供货状态为 925℃正火,主壳体厚度 $\delta = 89\text{mm}$,壳程设计温度为 -10℃/70℃。

根据图(1)中的注解规定,正火状态的 SA516Gr70 钢为 D 类曲线材料,根据定义,最小设计金属温度为 -10℃即 14 F,公称厚

度为 89mm 即 3 $\frac{1}{2}$ 英吋。

由图(1)上 D 曲线查得 3 $\frac{1}{2}$ 英吋公称厚度时免除冲击试验温度为 17 F,14 F 小于 17 F,由此可知原材料及焊接接头应做冲击试验。

各种材料的抗冲击力性能除了与温度、材料厚度有关外,还与容器的设计拉应力与许用拉应力之比的大小有关。在其它条件相同的情况下,容器设计拉应力与材料许用拉应力之比越小,越不容易发生脆性破坏。因此,新版 ASME 又引进了一个新的图表——UCS—66.1 图,即本文中图(2)。图(2)中,纵坐标为设计拉应力与许用拉应力之比,横坐标为降低免做冲击试验的最小设计金属温度的差值。

当设计拉应力与许用拉应力之比为 1 时,可以只采用图(1)(即 ASME—VII—1 册中的图 UCS—66)来判定碳钢和低合金钢是否要做冲击试验。当设计拉应力与许用拉应力比小于 1 时,还应借助图(2)中的曲线,降低图(1)中免做冲击试验的最小设计金属温度。

这里仍以 E1805 产品主壳体材料为例说明如何使用图(2)中的曲线。前面已提到正火 SA516Gr70 钢当厚度为 3 $\frac{1}{2}$ 英吋时,由图(1)中 D 曲线查得免做冲击试验的温度为 17 F 而 E1805 最小设计金属温度为 14 F,应做冲击试验,上述结果是在许用拉应力与设计拉应力之比为 1 的条件下求得的,也就是说图(1)上的曲线适合于应力比为 1 的条件,如果 E1805 产品设计时,设计拉应力与许用拉应力之比为 0.9 还应运用图(2)中的差值曲线,由图(2)查得应力比为 0.9 时,最小设计金属温度差为 10 F,那原来求得的应力比为 1 时免做冲击试验温度为 17 F,而应力比为 0.9 时可降低 10 F,即为 7 F。根据 E1805 产品最小金属设计温度为 14 F,高于免做冲击试验温度 7 F,可免做材料或焊接接头的

冲击试验。以上叙述可知,当应力比小于1时,可运用图(2)中曲线降低免做冲击试验的最小金属设计温度。

ASME—Ⅶ—1册中规定当最小设计金属温度小于 -50F (即 -45.5C)时,不管应力比如何小,都应做冲击试验,但下面一种情况除外:

当容器为静态容器时,即使最小设计金属温度小于 -50F ,如果应力比小于0.4时,也可免做冲击试验。

ASME—Ⅶ—1册89版、92版对碳钢、低合金钢焊接工艺评定是否作冲击试验作如下规定:

1. 焊缝金属

a) 有填充金属的焊接接头,当母材按图(1)、图(2)规定有冲击试验要求时其焊缝金属也应作冲击试验。

b) 无填充金属的焊接接头,当焊缝厚度大于 $\frac{1}{2}$ 英吋,不管最小设计金属温度高低如何,焊缝均应作冲击试验,当焊缝厚度大于 $\frac{5}{16}$ 英吋,且最小设计金属温度低于 -50F 时,焊缝也应作冲击试验。

2. 热影响区

在下列任一情况下,有无填充金属的焊接接头,热影响区均应做冲击试验。

a) 当母材按规定作冲击试验时

b) 当设计金属温度低于 70F ,且焊缝中任一焊层的厚度大于 $\frac{1}{2}$ 英吋时。

ASME—Ⅶ—1册92版、89版中,对碳钢、低合金钢产品焊接试板是否作冲击试验作如下规定:

1. 焊缝:

当母材按上述规定可免做冲击试验,且容器的最小设计温度大于或等于 -30C (20F)时,可免做产品试板焊缝的冲击试验。

2. 热影响区:

当母材按规定可免做冲击试验时,则产品试板的热影响区可免做冲击试验。

二、(2) 高合金钢有关免做冲击试验规定较简单,这里从略

二、(3) 热处理后提高抗拉性能的铁素钢,免做冲击试验也很简单,这里也从略。

三、夏比冲击试验(V型缺口)的最小能量规定

当制造压力容器的材料和焊接接头按上述规定,要求做材料和焊接工艺评定和产品焊接试板的冲击试验时,按照ASME—Ⅶ—1册中UG—84规定:冲击试样必须做成夏比V型缺口的冲击试样,关于各种材料的全尺寸夏比V型缺口冲击试验的最小能量要求89版及92版ASME也作了较大的修改。

86版ASME—Ⅶ—1册按材料的抗拉强度等级和脱氧程度规定了各种材料冲击试验的最小能量要求,如表1所示。

表1 86版ASME—Ⅶ—1册中对材料冲击试验要求

规定的材料抗拉强度最小值 MPa	(完全脱氧)J	(非完全脱氧)J
$\delta_{bmin} \leq 450$	18	14
$450 < \delta_{bmin} \leq 515$	20	18
$515 < \delta_{bmin}$	27	——

上述按照材料抗拉强度大小和脱氧程度不同来规定冲击试验最小能量是不合理的。

近年来材料的脆性断裂理论和试验表明,材料的脆性断裂行为与材料的屈服强度和材料

工作状态下的厚度有很大关系。材料屈服强度越高,材料工作状态下的厚度越大,容器越容易产生脆性破坏,从而对材料的抗冲击破坏能力的冲击韧性要求也就越高。因此材料的冲击韧性要求是材料屈服强度和材料厚度的函数。89版、92版 ASME—Ⅷ—1 册中增加了低合金钢,碳钢夏比 V 型缺口冲击试验全尺寸试样的最小能量图,见图(3)。

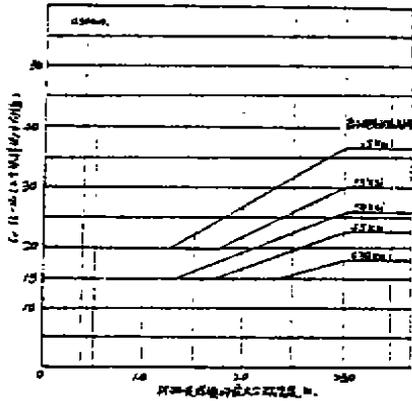


图3 (即 ASME—Ⅷ—1 册中 UG84.1 图)
碳钢、低合金钢夏比 V 型缺口冲击试验全尺寸试样的
最小能量图

图中横坐标为材料和焊接接头的最大公称厚度,纵坐标为三个试样的平均值应达到的冲击试验指标。图中列出五种屈服强度等级材料的最小能量(冲击试验)随公称厚度变化的要求值。如果材料的屈服强度在上述五个屈服强度之间,可用内插法求得对应于该材料冲击试验的最小能量值。读者可以根据所选用材料的最小屈服强度规定值和材料的工作厚度借助于图 3 来确定该材料在指定厚度下的冲击试验最小能量。

该图的注解中指出:对于 SA—320, SA—333, SA—334, SA—350, SA—352 等特殊材料,其冲击试验不一定要满足于图 3 中关于最小能量的要求,在这些特殊材料使用的最小设计金属温度不低于试验温度时,只要满足于相应材料制造技术条件中关于冲击试验最小能量的要求就可以。

对于非全尺寸试样的冲击试验最小能量,ASME 规定应为全尺寸试样图 UG84.1 的规定值乘上实际试样的缺口宽度与全尺寸试样缺口宽度之比。最小缺口宽度可为 2.5mm,即四分之一全尺寸试样的缺口宽度。

冲击试验每组有三个试样,ASME 规定,如果三个冲击试样的平均值低于所对应的冲击试验最小能量规定值的 $\frac{2}{3}$,但多于一个试样的冲击值低于最小能量规定值,或只有一个试样的冲击功低于最小能量规定值的 $\frac{2}{3}$ 倍,应另外增加三个试样重复进行试验,而重复进行试验的三个试样的每一个试验值都应等于或超过最小能量的规定值。

ASME 标准还规定当试样因缺陷或试验程序不可靠而产生的反常结果时,允许重复试验。

四、冲击试验的温度

ASME—Ⅷ—1 册中 UG84(C)(5)规定了所有夏比冲击试验应遵守的试验温度准则。

对于材料厚度等于或大于 10mm 的冲击试验,制成的夏比 V 型缺口试样其缺口宽度不小于 8mm,这时试验温度应不高于最小设计金属温度。如果制备缺口冲击试验的缺口宽度小于 8mm,则试验温度应比最小设计金属温度低。其降低的温度差值见表格中的对应值。

缺口宽度(英寸)		差值(°F)
0.394	(10mm)	0
0.354	(9mm)	0
0.315	(8mm)	0
0.295	(7.5mm)	5
0.276	(7.0mm)	8
0.262	(6.7mm)	16
0.236	(6.0mm)	26
0.197	(5.0mm)	20
0.158	(4.0mm)	36
0.131	(3.3mm)	35
0.118	(3mm)	40
0.099	(2.5mm)	50

对于材料厚度小于8mm的冲击试验,夏比冲击试样的V型缺口宽不小于公称厚度的80%时,则试验温度应不高于最小设计温度。如果制备的冲击试样缺口宽度小于材料公称厚度的80%时,当材料(指碳钢、低合金钢)的最小抗拉强度小于95000PSi的材料冲击试验温度应低于最小设计金属温度,降低值等于实际材料厚度对应温度降低数与实际试验的夏比试样宽度对应的温度降低数之差。对于最小抗拉强度大于等于95000PSi的碳钢、低合金钢以及高合金钢,及热处理提高抗拉强度的铁素体钢,则试验温度不应高于最小设计温度。

上述对冲击试验温度的规定比国内的有关法规更明确更具体。

五、材料、焊缝、热影响区冲击试验的取样位置、方位及数量

ASME法规对冲击试验的取样位置、方位以及数量都作了明确规定。

当材料按规定要进行冲击试验时,应从每张轧制钢板上的各个规定方向取一组冲击试验;如材料是经过调质热处理,应由每张热处理钢板上取样,在各个规定方向做一组冲击试验;如果材料标准要求热处理而订货未要求热处理,则应从钢板上取一毛坯按标准进行热处理再在毛坯上取一组冲击试样。当钢板厚度允许时,应采用全尺寸试样,且其中中心线尽可能在板厚的 $\frac{1}{4}$ 的平面上。

焊缝要求做冲击试验时,如果板厚不超过38mm,取一组焊缝冲击试样,试样应垂直于焊缝,缺口在焊缝上,且使缺口垂直于材料表面并使试样一个面在材料表面的 $\frac{1}{16}$ 英寸内。如板厚超过38mm,取两组焊缝冲击试样,两组试样均应靠近材料的两侧表面。

热影响区要求做冲击试验时,不管材料

厚度如何只取一组冲击试样,冲击试样也应垂直于焊缝截取,使浸蚀后缺口位于热影响区,缺口的切取应近似于垂直材料表面,以使试样断裂处尺可能包括更多的热影响区。

六、讨论

国内压力容器的法则,GB150—89钢制压力容器标准和JB4708—92钢制压力容器焊接工艺评定标准,对焊接工艺评定和产品焊接试板是否要做冲击试验,规定不明确。GB150—89中规定与容器使用温度小于0℃时,需进行夏比低温冲击试验,但是没有规定常温容器一定要做冲击试验,JB4708—94中在力学性能试验项目提到,力学性能试验项目包括拉力、弯曲试验和冲击试验(当规定时)。从这里可以看到冲击试验后面加上“当规定时”四个字,这就是说拉力、弯曲试验一定要做,而冲击试验在规要做时才要做,否则不要做。但是何时应做、何时不应做,GB150—89及JB4708—92年都没有明确规定。而国内一些文献及企业一些技术条件中规定焊接工艺评定一定要做冲击试验。我厂钢制压力容器制造技术条件88—372中也规定焊接工艺评定一定做冲击试验,这些规定有无必要应值得大家思考。如果容器所选用的材料在容器的工作温度下,不会产生脆性破坏,就不需要在焊接工艺评定时做冲击试验。笔者认为国内的法规应参照ASME法规,明确规定材料和焊接接头是否做冲击试验的原则。

参考文献

1. ASME—1—A册 钢铁材料 (89版)
2. ASME—Ⅷ—1册 压力容器 (86版)
3. ASME—Ⅷ—1册 压力容器 (89版、92版)
4. 钢制压力容器焊接工艺 机械工业出版社
5. 焊接接头的强度与断裂 佐藤邦彦