

金属在低温时的 强度和范性

Г. Б. 烏 日 克

科 学 出 版 社

75.23
513
C2

金属在低温时的强度和范性

Г. В. 烏日克 著

王 聰 譯

24503/35

科



社

Г. В. Ужик
Прочность и пластичность металлов
при низких температурах
АН СССР, Москва, 1957

內 容 簡 介

本书是苏联科学院机械研究所对金属在低温时的强度和范性所作的研究报告。

书中列述各种金属结构在低温时所发生的各种破坏事故；详细分析了各种不同的应力集中与载荷条件对金属强度的影响；深入地论述金属在温度降低时各种应力集中对强度的影响，以及金属在极低温度时的强度和范性；阐明了范性金属转变为完全脆性状态，从而导致突然破坏的条件。书末附有苏联及其他国家的各种金属及合金在不同低温时的机械性能的数据。

本书适合于金属强度方面的研究人员参考，也可以作为金属结构（特别是焊接结构）的设计人员在选择金属材料和研究结构强度时的参考资料。

金属在低温时的强度和范性

Г. В. Ужик 著

王 然 译

科学出版社出版（北京朝阳门大街117号）

北京市书刊出版业营业许可出字第061号

煤炭工业出版社印刷 新华书店总经售

1959年9月第一版

1959年9月第一次印刷

（京）0001—4,000

书号：1911 字数：141,000

开本：850×1168 1/32

印张：51/10 插页：2

定价：0.86 元

序 言

关于金属在低温时的强度和范性的问题，是在下列三个主要方面进行研究的：

- 1) 第一方面是总合金属在低温时的强度和范性方面的物理研究工作；
- 2) 第二方面是以探讨冶金和金相特性等因素的影响为目的；
- 3) 第三方面是研究各种不同机械特性的因素(如加载方法、应力集中等)对金属在低温时的强度的作用和影响。

在物理研究方面，巨大的研究成果在苏联是由约飞 (А. Ф. Иоффе) 院士获得的，他确定了物质在温度的影响下从韧性状态转变为脆性状态的最重要规律，并指出了有两种本质不同的材料强度存在：韧性破坏强度和范性破坏强度。

这种应用于金属材料的研究结果，在乌克兰科学院达维琴科夫 (Н. Н. Давиденков) 院士及其研究员们的工作中得到了进一步的全面发展。

与此同时，在低温下的金属在形变和破坏过程中所发生各种不同现象的物理本质的许多问题还未能解释。例如，到现在还不能确定，究竟为什么有一种所谓冷脆性的金属(体心晶格的金属)在降低温度时范性会减低，并且在某种低温时，此种金属会变成完全脆性的；而另外一种没有冷脆性的金属(例如，面心晶格的金属)，甚至在极低的温度时(在液态氢的温度，接近于液体氮的温度)仍旧保持着有很大的形变能力。同时，某些没有冷脆性的金属(有色金属、奥氏体钢)在低温时往往并不是减低范性，而是增强范性，并且显著地提高了它的破坏强度。

很明显，这种结果的物理本质，不能只限于象平常那样，用原子活动性减小的理由来说明，或者以低温时位错特性改变来说

明。

牵涉到金属的炼制及其加工的各种方法的无数问题，都与研究具有冶金和金相特性的因素对于低温时的强度和范性的影响有关。近来非常注意于查明在低温的使用条件下能否采用低合金钢来代替稀缺而昂贵的合金的问题。

在苏联和国外所进行的研究结果，已由新近出版的、谢万金 (E. M. Шевандин) 著的“低合金钢的脆性倾向” [Склонность к хрупкости низколегированных сталей (Металлгиздат. 1953)] 一书中报导过。

在这一著作中，详尽地讨论了低合金钢的冷脆性与它们的化学成分、各种合金元素的作用、热处理等因素的关系。

最后一个方面的任务，是研究由材料的载荷状态所决定的各种机械特性因素。在这一方面，查明应力集中处的强度条件是有特别意义的。

分析各种构筑物由于低温引起事故的原因证明，这些构筑物的破坏通常是在各种应力集中处开始的。但是，谁都知道，应力集中决非经常造成强度的减小。在许多情况下，也发现有相反的现象，即在低温时应力集中处的强度反而增大。这种现象是什么原因引起的呢？在怎样的应力集中情况下和哪一种载荷下，能引起低温时强度减小的最大危险？在这些情况下，构筑物突然破坏是由于什么原因？而且最后，金属在低温时所发生的机械性能改变对于应力集中处的强度条件有多大影响？

本书正是要向读者说明这一类问题。

作者深信，单靠一个标准机械性能特性的测定，是不能作为根据来解决关于某一种金属在低温时以及在任何其它载荷条件下的优点和适用性的问题。

解决这个重大问题时应该首先确定，由于温度降低(或任何其他条件，包括载荷条件)所引起的机械性能的变化，对于应力集中处的强度影响如何(确定出它们之间的关系，例如确定温度降低时机械性能的改变与残余应力数值重新分配和变化的特性之间的关系)。

系,也可能有很大的意义)。

但是直到最近为止,选择材料以及解决该项材料是否适于某种用途的问题时,多半就是只以一种机械性能测定结果为依据的。很少用有刻槽试样的试验结果来补充标准机械特性的数据,因为在这种情况下所获得的平均破坏应力值,通常与各种刻槽周围的应力状态的特性无关。

基于上述原因,本书将应力集中处强度条件的讨论列于重要的地位。作者明确地理解到,由于有关应力集中的一般问题,特别是在弹性-范性载荷阶段时的应力集中问题,研究得非常不够,故不可能将有关这方面的许多问题(可能满足读者要求的)都做出答案。因为这缘故,许多问题只是提出。但是,根据作者的见解,即使只是对这种复杂问题做了某些方面的部分说明,也有助于对低温条件下使用的结构中的金属强度和范性有更正确的估计。

作者在收集本书中的研究成果时,曾得到库里果夫(А. П. Куликов)、朱可娃(А. А. Зуйкова)、科谢列夫(П. Ф. Кошелев)、弗拉德科夫(А. Б. Фрадков)、达维多娃(Л. Н. Давыдова)、维里特(Е. О. Вильдт)的帮助,谨向他们致以深切的谢意。

目 录

序 言	i
第一章 研究金属在低温时的强度和范性的基本问题之一	1
第二章 各种构筑物由于温度降低所引起的若干事故和破坏的事例	4
桥梁事故	4
横跨比利时阿尔伯特运河的桥梁破坏事故	4
在鲁德尔斯道夫(德国)的桥梁局部破坏事故	6
在魁北克(加拿大)的桥梁破坏事故	7
大型储罐的破坏事故	8
在顺纳德(美国)的球形氢气储气罐的破坏事故	8
在苏联的大型石油储罐的局部破坏事故	10
气体管道的破坏事故	11
船舶的破坏事故	12
在低温时发生破坏的几种典型病源点	13
第三章 范性金属在温度降低时转变为脆性状态的条件	15
第四章 使用冲击韧性法(单次和成批试验)以估计金属在低温时的破坏强度	22
冷脆性的估计	22
关于冲击韧性的机械本质	27
低温对材料在静弯和冲弯时韧性变化的影响	34
第五章 应力集中处的强度条件分析	38
载荷条件特性和应力集中处的材料强度	38
弹性形变阶段	40
在应力集中区域中起始范性形变的形成	41
在弹性-范性形变阶段中在应力集中区域内的应力再分配特性	44
脆性破坏和韧性破坏的条件	48

第六章	温度降低时在应力集中处的强度	56
	各种不同应力集中对低温时强度的影响	56
	最危险的应力集中。最危险的应力集中的某些特征	63
	在低温时试样的尺寸对其强度的影响	74
	构筑物在低温时突然破坏的主要原因之一	75
第七章	在温度降低时起始范性形变强度的变化	80
第八章	金属在极低温度时的强度和范性	85
	研究金属在极低温度时的强度和范性的基本问题	85
	研究金属在极低温度时的强度和范性的方法	87
	研究结果	91
	范性金属抵抗脆性破坏的极限强度	97
	有充分范性的金属的两种原则上不同的脆性破坏原因以及两种	
	原则不同的范性形变受抑制的可能性	99
	范性金属抵抗脆性破坏的极限强度值的比较	102
	常温时滑移强度和脆性破坏极限强度间有无关系的问题	106
	预先受拉伸或压缩范性形变(冷作硬化)对于在常温和低温时脆	
	性破坏极限强度变化的影响	108
	在温度降低时的脆性破坏强度	111
第九章	金属在低温时的疲劳强度	112
第十章	低温试验方法	116
	主要结论	117
附 录		119
参考文献		166

第一章

研究金屬在低溫时的強度和范性的基本問題之一

有很多的著作^[1-25]报道了金屬在低溫时的強度和机械性能的研究。

根据所获得的研究結果，可以有充分的根据做出下列主要結論：降低溫度通常会提高金屬的強度而降低它的范性；当溫度降低时，強度极限和屈服点都增大；大多数的合金都会提高疲劳极限；冲击韌性在溫度降低时通常是減小的（有些合金是例外）；虽然范性減小，但有許多合金，特别是結構鋼，当溫度降低到极低时（至 -196° ），在靜載荷下仍旧保持着很大的范性裕量（至 $\psi=15\sim 50\%$ ）。甚至在这样低的溫度下（至 -196° ），还会发生強度的增大，而仍然保持着相当大的范性裕量，不仅在用光滑的試样試驗时（即在沒有应力集中的情况下）是这样，而且在用有刻槽的試样試驗时也是如此。关于这，可从表1及表2中所列的試驗結果得到証明。

同时，尽人皆知的是，当溫度降低时，机器破断和各种构筑物损坏的危险性都增大。构筑物和机器在冬季发生严重事故和破坏的事例可以說明这一点。

那末，这些矛盾——一面是甚至在极低的溫度下金屬強度还会提高（同时保持着充分大的范性裕量）是无疑地确定了的事实，而另一方面机器和构筑物的构件在低溫时又有因強度降低而引起破坏和事故的无数事例——到底又怎样解释呢？

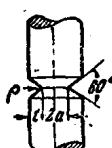
解释这一重要問題，早已是研究金屬在低溫时的強度的主要問題之一。要解决这一問題，首先应与应力集中处的強度的研究結合起来；因为任何一个机器或构筑物的构件強度，正是由这些地

表1 金属的合金*在温度降低时机械性能的改变(光滑试样)

材 料	屈服点 σ_s (公斤/毫米 ²)			破坏强度 σ_b (公斤/毫米 ²)			范性(截面收缩率) ψ (%)	
	+25°	-196°	增大(%)	+25°	-196°	增大(%)	+25°	-196°
镍钢(500°回火)	97.5	131.0	34.0	170.0	204.0	20.0	59.5	40.0
低合金钢	85.0	116.0	37.0	168.0	215.0	28.0	59.5	50.0
18-8 不锈钢	104.0	132.0	27.0	211.0	378.0	79.0	54.5	45.5
铬镍钢(650°回火)	95.5	140.0	46.0	175.0	218.0	24.0	59.7	44.5
铬镍钢(440°回火)	150.0	187.0	25.0	221.0	227.0	2.5	45.8	11.0
钛	51.0	124.0	146.0	93.5	155.0	66.0	24.0	14.8
24ST号铝	34.0	44.5	30.1	67.0	75.0	11.0	30.5	20.5
75ST号铝	50.5	62.5	24.0	78.0	82.0	5.0	28.0	15.0
FS1号镁	21.0	34.0	62.0	40.0	59.0	23.0	36.5	8.0

* 表1和表2中所示的材料成份列于著作^[1]。

表2 用表1中所示金属合金制成的、带有刻槽的试样在常温及低温时的强度

材 料	沿最小截面的抗拉强度 S_{AK} (公斤/毫米 ²)			抗断时的范性(截面收缩率) ψ (%)		试样及刻槽的形状和尺寸(毫米)
	+25°	-196°	变化(%)	+25°	-196°	
镍钢(550°回火)	148.0	180.0	+22.0	22.0	6.8	 $2a=8-12$ $t=0.6$ $p=0.25$
低合金钢	144.0	170.0	+18.0	11.3	3.3	
18-8 不锈钢	189.0	257.0	+36.0	11.5	7.3	
铬镍钢(650°回火)	147.0	190.0	+30.0	17.0	6.3	
铬镍钢(440°回火)	206.0	196.0	-5.0	3.5	2.8	
钛	87.0	156.0	+78.4	12.5	5.0	
24ST号铝	52.0	61.5	+18.0	7.0	6.5	
75ST号铝	63.5	74.0	+16.0	2.3	2.3	
FS1号镁	31.0	38.7	+25.0	11.3	4.0	

方,即各种沟槽、孔、凹角等处附近能否很好地保证强度来决定。

但是,当温度降低时,应力集中不一定总是减小强度,从表2上的数据就可以证实这一点。在某些载荷条件下,应力集中处的强度不但不减小,甚至反而增大。因此,正确地查明哪些载荷条件

以及哪些应力集中造成的机器及构筑物的构件在低温时发生破坏的危险性最大,是异常重要的。

为了说明引起机器及构筑物的各种构件在低温时发生破坏的最可能原因,在本书的第五章中叙述关于应力集中处强度条件的研究。

第 二 章

各种构筑物由于温度降低所引起的 若干事故和破坏的事例

近 15—20 年来,在许多的国家中都发生过各种构筑物由于温度降低而引起的严重破坏事故。以下引述一些足以说明破坏事故发生条件的资料,并研究引起这些破坏原因的若干分析结果。

桥 梁 事 故

横跨比利时阿尔伯特运河的桥梁破坏事故^[25,26]

桥在哈塞尔特,建于 1936 年,于 1938 年 3 月 14 日在严寒气候下破坏。目击者曾听到类似枪砲的响声,过了几分钟后,桥便断成三段,坠入河中(图 1)。

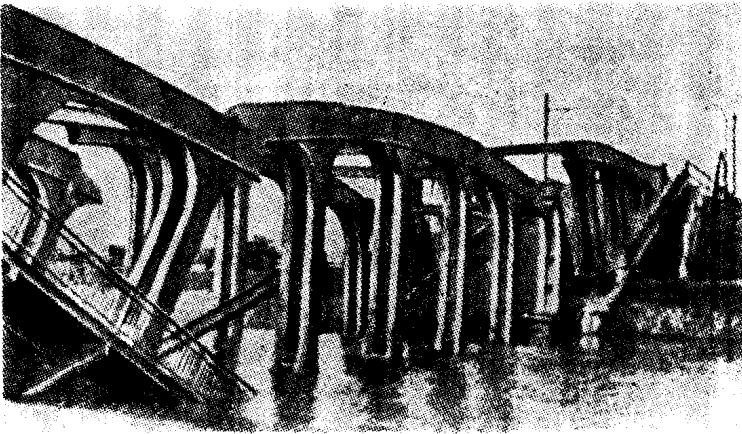


图 1 跨越哈塞尔特(比利时)的阿尔伯特运河的桥,于 1938 年 3 月 14 日发生脆性破坏(该桥建于 1936 年)

过了两年以后,于1940年1月19日,又有第二座桥在 -14° 温度下发生局部破坏。該桥建于1937年,是横跨格兰它境内的阿尔伯特运河的。在桥架的下弦上曾发现有长达150毫米的裂縫(从焊接接头处开始裂开)。过了几天以后,于1940年1月25日,横跨加里境内的上述同一条运河的桥又发生局部破坏。这一座桥建于1935年。在破坏的时候温度降低到 -14° 。在桥架的上弦上曾发现有六条大裂縫。

在1947—1950年間,在比利时还有14起桥梁构件脆性破坏事故。同时,其中有六起是在低温时发生的。

在比利时的桥梁事故引起了广大工程界的注意。他們曾进行过全面的分析研究,以查明发生这些事故的原因。

根据所得到的研究結果,做出了下列主要結論:

1. 在大多数所研究过的破坏事件中,都是在桥柱与下弦的連接处,沿着連接两构件翼板的焊縫开始破坏的(即在应力集中处开始破坏);

2. 在这一类接头中曾发现有残余应力,其大小接近于屈服点;

3. 在設計桥梁时沒有采取措施来减小显著的应力集中,特别是在焊接处;除此以外,在焊接处还有因焊接質量不好而引起的附加減弱;

4. 在破坏处和焊接处附近曾发现許多細小裂縫;

5. 基本金属的机械性質是符合要求的;

6. 使用酸性轉炉沸騰鋼来作厚度大于35—40毫米鋼板的焊接用未必可以认为适当,尽管它的靜載强度特性合格,但用这种鋼做成的上述厚度的鋼板,冲击韌性是很低的;

7. 在垂直柱与下弦的連接結構中的容許誤差以及这种接头的焊接不良,并不是破坏(哈塞尔特的桥)的主要原因,因为在格兰它及加里的桥梁是在別的部位破坏的。

桥梁破坏的主要原因是:

- 1) 在应力集中处的复杂应力状态,使变形不易,并有很大的残余应力存在;

- 2) 低温的影响;
- 3) 鋼料的冲击韧性低。

在魯德尔斯道夫(德国)的桥梁局部破坏事故^[10, 25]

柏林附近(魯德尔斯道夫)跨越公路的桥梁,于1938年1月2日当温度急剧下降至 -10° 时发生局部破坏。曾发现有长达3米的裂縫。

焊接桥梁的破坏病源点照例是在从腹板过渡到下翼板的焊接处发现的(图2、3)。

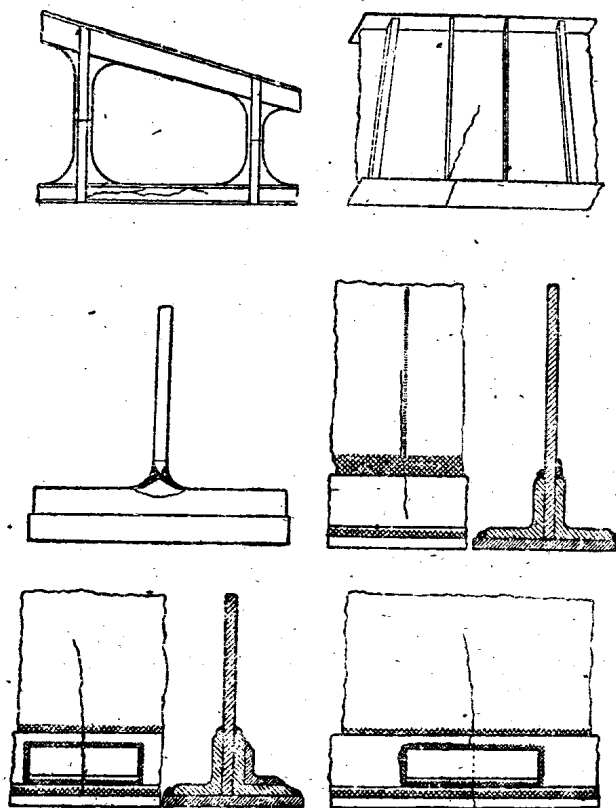


图2 桥梁和鍋器构件脆性破坏的典型病源点。
細曲綫表示裂縫扩展区域

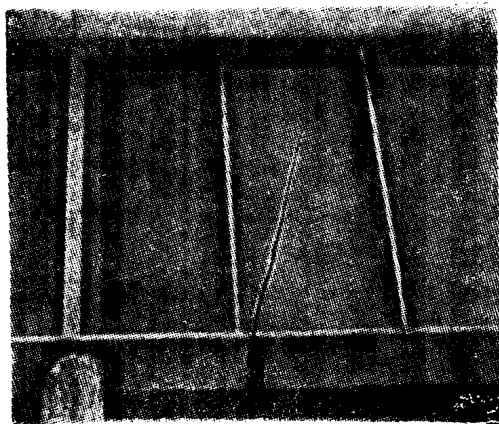


图3 在鲁德尔斯道夫(德国)的一个破断桥梁
构件上应力集中区域的脆性裂缝

在研究桥梁局部破坏的原因时，在焊接处附近查明有数值很大的残余应力。

在魁北克(加拿大)的桥梁破坏事故^[7]

近几年来最严重的桥梁事故之一，是1951年在魁北克发生的。这一座焊接结构的桥梁的建筑工程是在1947年全部完工的。桥梁在交付使用后过了27个月，于1950年2月在严寒中发现桥的东部桥架的下弦有裂缝。破坏的构件换成新的并加强以后，又在桥的西部下弦的相同部位发现极相似的裂缝。在这两种情况中，裂缝都是从焊接处、从上翼板过渡到腹板的凹角处开始的。把破坏了的桥梁构件安装新的构件来代替，并在新构件的受拉区域加上铆接盖板来加强。

虽然严密地检查桥梁的状态，并及时地更换局部损坏的构件，但该桥仍于1951年1月31日在严寒中(-35°)完全破坏。有三个跨度(各长约60米)坠入河中(图4)。

在如此低的气温中所发生的桥梁破坏是突如其来的。关于这，可从下面事实证明：桥梁在最终破坏以前的短短两星期中，曾经过历时10天之久的细密检查。

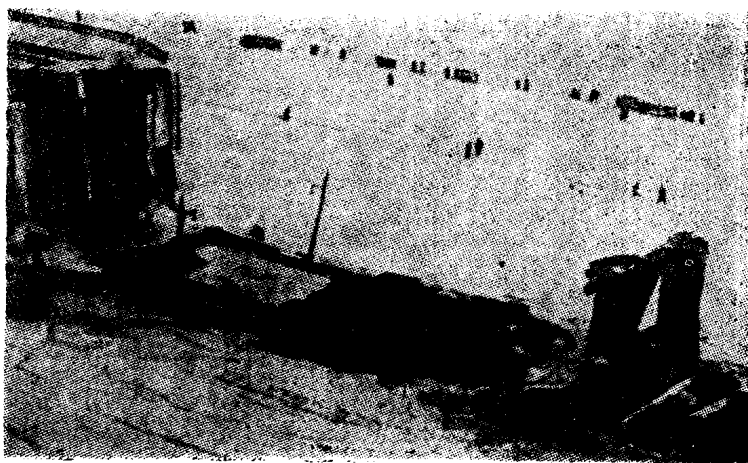


图4 在魁北克(加拿大)的桥于1951年1月31日发生脆性破坏(该桥建于1947年)

負責此項检查工作的地区桥梁检查机关，曾得出桥梁在完好状态的結論。但是，只过了两天，当温度降低至 -35° 时，便发生事故。

所进行过的分析研究已經确定，鋼料质量不好是桥梁破坏的主要原因之一。在桥架的各种构件中，曾查出碳和硫的含量甚高，并有許多夹渣的部分(特别是板料的表面区域)。

在个别的部分含碳量为 $0.23-0.4$ ，而含硫量为 $0.04-0.116\%$ 。

屈服点等于 $19.5-41.0$ 千克/毫米²。鋼料的冲击韧性很低。虽然焊接质量被認為是合格的，但裂縫总是在从腹板到翼板的过渡部分开始，这就証明在这些部位有很大的应力集中，并可能是发生事故的重大原因之一。

大型儲罐的破坏事故

在順納德(美国)的球形氢气儲气罐的破坏事故^[28,30]

1943年2月16日在紐約附近的順納德地方，当温度急剧降

低(至 -12°)时,有一个 12 米直径的大型儲气罐发生破坏,同时带来了爆炸。

該儲气罐是用来儲存氢气的,其工作压力为 50 大气压。儲气罐有两个安全閥,用以防止压力升高。在爆炸以后,試驗安全閥(安全閥损坏并不严重)的結果証明,当压力升高至 53—58 大气压时,安全閥能可靠地发生作用。因此,儲气罐的破坏和爆炸,不可能是由于压力突然升高而发生。球形儲气罐的外壳是用 17 毫米厚的鋼板用电弧焊法焊成的。

在破坏以前的 36 小时内,温度曾低于零度,后来在 7 小时内温度降至 -3° ,最后在爆炸的时候,温度繼續降低到 -12° 。外壳的破坏是脆性的(图 5)。

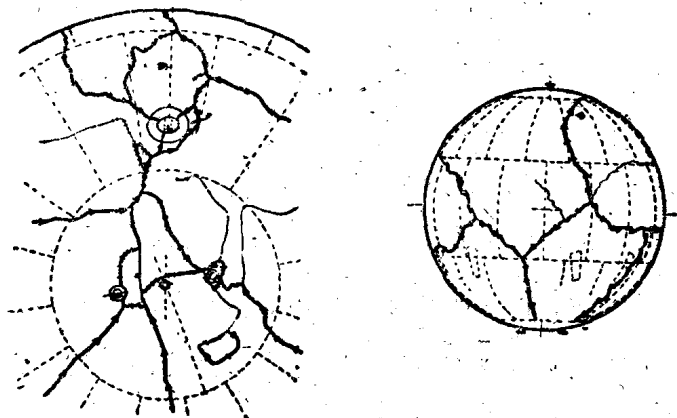


图 5 儲气罐在因温度降低而引起的突然脆性破坏时裂縫的分布特性

儲气罐发生破坏的可能原因如下:

- 1) 外壳从球形部分过渡到检查孔的垂直壁处有减弱部分存在,因为破坏就是在有很大应力集中的这一部分开始的(图 6, 1);
- 2) 在焊接处附近的残余应力;
- 3) 由于温度降低而使金属的范性减小;
- 4) 由于外部温度突然改变,而使气体的内压力可能有激烈的波动。