前　　言

五十年代开始的，六十年代以来得到迅速发展的断裂力学在提高产品质量，研制新型材料，改进产品工艺，合理评价产品质量，发挥产品潜力以及合理选材安全设计等方面获得广泛应用。在国防、交通、机械、化工等部门引起极大重视。

断裂力学的研究和应用迫切要求提供材料的断裂力学评价指标（如 KIc、KR、$\frac{da}{dN}$、KIscc、KId等）及其标准试验方法。为此，我们将国外断裂力学的有关标准试方法汇编成册，以便有关部门的技术人员使用和参考。

第三机械工业部621研究所 25 室对本汇编给予很大的关心和帮助，提出了指导性的意见，我们谨此致谢。

由于我们水平有限，汇编中会有不少错误和不妥之处，请读者批评指正。

011基地—602处中心试验室

目　　录

ANSI／ASTME399-78金属材料平面应变断裂韧性标准试验方法

本标准以固定名称 E399 发表，其后紧接的数字表示最初采用的年份，或者如经修订则表示最近修订的年份。括号中的数字表示最近重新批准的年份。

1、范　　围

1.1 本方法适用于厚度≧0.25吋（6.4毫米）的带有缺口和预制疲劳裂纹的弯曲，紧凑及园筒形截面试样来测定金属材料的平面应变断裂韧性（KIc）。

注1—足够脆的更薄的金属材料的平面应变断裂韧性试验，可采用其它型式的试样来做〔1〕[2]，对于这样薄的材料，还没有标准试验方法。

1.1.1、弯曲试样是单边缺口梁，以三点弯曲方式加载。

1.1.2、紧凑拉伸试样是单边缺口的，通过销钉拉伸加载。

1.1.3、C形试样是部分园筒上切取的单边缺口的，并通过销钉拉伸加载。

1.2、试验所用试样的尺寸，随材料的韧性与屈服强度的比的平方而增加，因此，必须提供一系列比例试样。

1.3、本方法也适用于测定试样强度比（弯曲试样为Rsb,紧凑试样为Rsc,C形试样为Rsd），它是试样所能承受的最大载荷，试样尺寸和材料的屈服强度的函数。当试验用的试样形状及尺寸相同，即使试样尺寸可能比有效KIc测定所要求的试样尺寸小很多，但却使最大的载荷是在范性失稳前由显著的裂纹扩展引起的，则试样强度比是材料韧性的一个有用的相对度量。

注2—以标成英制单位的值为标准。

2、适用文件

2.1、ASTM标准

E8　金属材料的拉伸试验[3]。

E337　用干—湿球温度计测定相对湿度[4]。

E338　高强度板材的尖缺口拉伸试验[5]。

3、方法概述

3.1、本方法包括有预制疲劳裂纹的缺口试样的拉伸和三点弯曲试验。自动地记录载荷及试样边缘缺口的张开位移，根据对直线部分的规定偏离来确定 2% 裂纹扩展量相应的负荷。利用此载荷，代入相应的公式，计算KIc值，这些公式是根据各类型的试样的弹性应力分析而建立的，用本方法测定的KIc值的有效性，除了试样要有适当的尺寸外，还决定于疲劳裂纹尖端的“尖锐”程度，为了得到裂纹尖端适宜的“尖锐”程度，试样在预制疲劳裂纹时的应力水平要限制在一个较低的值。

4、意　　义

4.1、根据本方法测定的KIc性能，表明材料在中性环境中，当存在着严重拉伸约束的尖裂纹时，材料抗断裂的阻力，此时，靠近裂纹尖端的应力状态接近于三轴拉伸的平面应变状态，并且裂纹尖端的塑性区尺寸远小于裂纹尺寸和试样在受约束方向上的尺寸。KIc被认为代表断裂韧性的下限值。当材料使用中存在上述高约束状态时，这个值可用于估计断裂应力和缺陷尺寸间的关系。提出这个试验方法所依据的线弹性断裂力学原理的报告，可参阅文献〔1〕和〔2〕。

4.1.1、各种材料的KIc值是试验速度与温度的函数，此外，在KI值小于KIc值时，循环载荷可以引起裂纹扩展，在循环载荷或持久载荷作用下裂纹扩展会因有腐蚀介质存在而增快，因此，应用KIc于部件设计时，应当注意实验室条件和现场之间可能存在的差别。

4.1.2、平面应变断裂韧性试验的不寻常处，在于不能预先保证在特定的试验中一定能测出有效KIc，因此，重要的是必须按这里所说的仔细地考虑有关试验结果有效性的全部判据。

4.1.3、很明显，如果待测材料的任一尺寸不足以提供一个满足尺寸要求的试样，则不可能测得KIc，而在这种情况下，可用本标准规定测定试样的强度比，这往往是有实际意义的。试样强度比是与试样的形状，大小以及材料本身性质有关的，如果诸试样在形状，尺寸下都相同，而且，试样的尺寸（虽然可能比测定有效KIc所要求的小很

1、本标准由ASTME24断裂试验委员会审批的，并且直接作为E24.01小组的断裂力学试验方法。

现在的版本是1978年1月27日批准，1978年5月发行的，原版为E399—70T，后更改版为E399—74。

2、括号中的数为字本标准引用的参考文献。

3、ASTM标准年鉴第6、7和10卷。

4、ASTM标准年鉴第20、26、32和41卷。

5、ASTM标准年鉴第10卷。

多）仍大到足以使其极限载荷在塑性失稳之前由裂纹的显著扩展而引起的话，把试样强度比作为材料韧性的一种相对度量是有意义的。

4.1.3.1、做单轴拉伸试验的预裂纹试样的强度比可用E338方法测定。

4.2本方法可用于下列目的：

4.2.1、在研究和发展工作中，确定冶金因素如成分、热处理或制造工艺如焊接、成型等对新型材料或现有材料断裂韧性影响的定量关系，这种关系对使用性能是重要的。

4.2.2.在使用评价中，如果已经明确了具体应用中的应力状态，并能可靠地确定最大缺陷尺寸，则可根据本方法来断定某种材料是否适应上述特殊的应用。

4.2.3.作为验收和产品质量控制范围来用，但这只能用在最低KIc值的规定有可靠基础时而且产品尺寸要大到足以制备有效测定所需的试样。针对具体应用而规定出KIc的值，在于表明已就构件的预期加载经历，环境，以及裂纹检查程序的灵敏度，可靠性等方面进行断裂控制的研究。这种裂纹检查程序是在构件使用之前，以及随后的预期寿命中都要采用的。

5、定　　义

5.1.应力强度因子 KI($FL^{-3/2}$) 是在线弹性体中，当变形使得裂纹表面垂直于裂纹所在平面而张开时(张开型或Ⅰ型变形)，理想裂纹尖端附近区域应力场强度的度量。KI正比于外加载荷，并取决于试样几何形状。见参考文献〔3〕“裂纹应力分析”。

5.2、平面应变断裂韧性KIc（$FL^{-3/2}$）是用本标准中规定的操作程序测定的并以应力强度因子KI来度量材料的韧性性能。

5.2.1、在本标准中，KIc是根据裂纹发生明显的可测量的扩展时的最低负荷来测量的，这一明显的可测量的裂纹扩展量是根据负荷 — 位移曲线偏离线性一个规定的偏离量来下定义的（如9.1中所述）。在某些情况下，这个负荷与最大负荷相一致，但通常试样将承受的负荷比发生明显裂纹扩展的负荷要大。

6、装　　置

6.1、本试验程序适用于予制疲劳裂纹的缺口试样的试验，用自动记录仪记录负荷与缺口张开位移的关系曲线，可以在各种型式的试验机上进行试验，但要求带有适宜的负荷传感器，以便接入自动记录仪或其它记录装置。

6.2、弯曲试验装置 — 要求所设计的弯曲试验支座必须尽可能地减少因试样和支

承件之间摩擦所引起的误差。如果底座设计得能允许支撑辊滚动并略微分开，从而就可保持滚动接触，则摩擦效应可以实际上消除，推荐用图1所示的底座设计方案，支承辊只允许沿平台表面做有限运动，但需用低张力弹簧（如橡皮筋）使其靠紧内档块，以获得初始的确切定位。

6.3、紧凑和C形试样用的装置和夹具——紧凑和C形试样所用的夹头装置如图2所示，试样上、下夹头都采用U形槽和销钉结构，以允许加载时试样转动〔4〕。

6.3.1、图中给出了U形夹头和销钉的最大公差及建议的比例，这些比例是以W／B＝2、B>0.5时（12.7mm）和W／B＝4、B≤0.5时（12.5mm）的试样为基础的，如果U形夹头和销钉用屈服强度为196公斤／毫米^2（1930兆巴）的马氏体时效钢制造，则在试验第7.1.3中所给出的不同试样尺寸和σ_{ys}／E比值的情况下将会有足够强度，若制造夹头的材料强度较低或需要试验比第7.1.3中σ_{ys}／E比值所相应的尺寸大得多的试样，则需要加厚的夹头，对厚度小于0.375时（95毫米）的试样，为便于安装夹式引伸计、如图2所示，可将U形夹头拐角处切掉。

6.3.2、必须十分注意，所有的辅助夹具必须细心地加工，以得到尽可能好的对中（见8.4条）

6.4、引伸计——引伸计的输出必须精确地指示跨在缺口上的两个精确定位的标距间的相对位移，必须精确而又稳定地安装好引伸计，而且，当试样断裂时，引伸计必须能脱开而不损坏，推荐一种能自行卡住并可脱开的引伸计，如图3所示，并在附录A，中做了详细介绍，图3也表示了引伸计安装在试样上的形式，为此目的，试样必须具一对经精密加工的刀口，刀口可以直接在试样上加工，或者将单独加工的刀口用螺钉固定在试样上（见图7和7.2条）本试验方法并不意味着排除使用其它形式的引伸计或引伸计固定装置，若能满足下述要求——而且标距不超过7.2.5中的规定，其它形式的引伸计固定装置也同样可以使用。

6.4.1、每个引伸计都要用伸长计标定器或其它合适的装置校核其线性，对每个位移间隔，标定器的可重复性都应在0.000020时（0.00050毫米）以内。在引伸计工作范围内的10个相等间隔上取读数，标定程序要进行三次，每次标定都要把引伸计从标定器上拿下来并重新装上，所要求的线性，应该相当于各个位移读数对于按最小二乘法最佳地拟合而穿过各数据点的直线的最大偏差不超过0.0001时（0.0025毫米）在这里的应用中绝对精确度本身是不必要的，因为试验方法涉及的只是位移的相对变化，而不是绝对值（参看第9.1条）。

7、试样的形状、尺寸和制备

7.1、试样尺寸。

7.1.1、遵照本方法，只有试样厚度B和裂纹长度a两者都大于25（K_{Ic}／σ_{ys}）^{2}时，试验结果才被认为是有效的，σ_{ys}是材料在试验温度和加载速率下的残余变形为0.2%时的屈服强度〔1.5.6〕。

7.1.2、为得到有效的KIc值，试样尺寸的最初选择可以以材料KIc值的估计值为基础，建议把KIc估计得偏高一些，使最初试验采用足够大的试样，从而得到有效的KIc结果，在以后的试验中就可以把试样的大小减到合适的尺寸［a和B≧2.5(KIc／бys)²］。

7.1.3、换种方法，可根据屈服强度对杨氏模量的比值来选择试样尺寸，除了韧性极高的材料外，对所有的材料都适用。

бys／E	推荐的最小厚度和裂纹长度	
	吋	毫米
0.0050～0.0057	3	75
>0.0057～0.0062	2½	63
>0.0062～0.0065	2	50
>0.0065～0.0068	1¾	44
>0.0068～0.0071	1½	38
>0.0071～0.0075	1¼	32
>0.0075～0.0080	1	25
>0.0080～0.0085	¾	20
>0.0085～0.0100	½	12½
≥0.0100	¼	6½

当确知2·5（KIc／σys）²比上表中给出的推荐厚度小很多时，则采用相应较小的试样。此外，如果所用的材料形状不可能得到裂纹长度和厚度都大于2.5（KIc＼σys）²的试样，那就不能按照本试验方法测定有效的KIsc值。

7.2标准试样——标准试样的几何形状：图4所示为弯曲试样，图5（a）为紧凑拉伸试样和图5（b）为C形试样，其缺口部分的细节见图6，对C形试样r_1/r_2值允许不作详细规定，因此，这试样可取自任何园筒，对r_1/r_2值接近零时，使用6·4节推荐的引伸计是不可能的，但是，倘若满足6.4和6.4.1的引伸计有的话，r_1/r_2接近或等于零的试样也能使用，应该注明C形试样是$r_1/r_2=0$的，即取自实心柱，因为W是根据空心园柱选定的，尽可能不使用它到材料试验中。

7.2.1裂纹长度a（裂纹起始端加疲劳裂纹）名义上等于厚度B，但实际在（0.45—0.55）W之间。［见图6(a)］。

7.2.2裂纹起始槽口轮廓必须在图6所示的包迹内，包迹的顶点即为疲劳裂纹的末端。

7.2.3疲劳裂纹的长度应不小于裂纹长度a的5%，也不得小于0.05吋（1.3毫米）（见图6）。

7.2.4、为了便于在一个低的应力强度水平上预制疲劳裂纹（见7.5节），缺口根部半径应为0.003吋（0.08毫米）或更小些，但是，如果用图6(b)所示的山形缺口，则缺口根部半径可为0.01吋（0.25毫米）或更小。

7.2.5、为了安装夹式引伸计，试样上应备有附加刀口和整体刀口，图7(a)和图7(b)分别为推荐的刀口设计图。对弯曲试样和C形试样只要标长等于或小于W/32，则位移量基本上与标长无关，对紧凑拉伸试样，当标长等于或小于1.2W时，位移量也与标长无关，图7(a)所示为一种附加刀口的装置，该装置是根据弯曲试样要求的标长和刀口距离为0.2吋（5.1毫米）而定的，根据螺钉和螺纹孔间的实际接触点来确定有效标长，设计中是用螺钉的主直径确定这个标长的，N02螺钉适用于W≧1吋（25毫米）的试样

的附加刀口。

7.2.6、给x／w＝0.5的C形试样的位移测量选择一种方法，园锥尖孔型刻痕设在C形试样的内表面，它们在厚度中央和加载孔中心线的平面上，如图5(b)所示，试样加载点位移是在这两点安装引伸计测得的，所要求的条件在6.4.1中叙述过。

7.3、其它试样——所用的材料形状可能更适宜于另一种形状的试样，而不是B＝0.5W的标准试样。

7.3.1、改型的弯曲试样可取B＝0.25W～1.0W。

7·3·2、改型的紧凑拉伸试样可取B＝0.25W～0.5W。

7·3·3、改型的C形试样可取B＝0.25W～0.5W。这种B与W关系的选择范围允许不同W值的试样使用对特殊B值而设计的同一夹具。由于允许用内部和外部不加工的挖空的园形几何形状的KIc试样，即试样宽度W不改变，这对C形试样是重要的。

〔注3〕紧凑试样中Manjoine设计的WOL试样被广泛地用来鉴测核反应堆中长期幅射损害。当制备了这样的试样并按本试验方法的程序进行试验时，所得结果的有效性可以凭标准试样的同样根据来判断，也就是说按9·1·1，第9·1.2和第9·1·6条中所规定的来判断。用这样的试样报告试验结果时，应说明由载荷和试样尺寸计算KQ所用的相应公式以及所援引的出处〔5〕。

7·3·4、裂纹长度a应与标准试样一样为0.45w～0.55W

7·3·5、弯曲试样的跨距与标准试样一样为4W。

7·3·6、与标准试样一样，也应满足7·1条的尺寸要求。

7·4、预制疲劳裂纹——预制疲劳裂纹应在试样完全热处理到试验状态之后进行（注4），疲劳裂纹应从缺口扩展至少0.05吋（1.3毫米）并要足够长以满足7·2和7·3条的要求，通常，为了确定何时满足这个要求，一般在试样表面观察裂纹表面痕迹，为了保证裂纹足够尖锐、平直、而且垂直于试样边缘，应满足下列预制疲劳裂纹的条件：

7·4·1、预制疲劳裂纹的设备应使载荷相对于缺口的分布是对称的，而且在疲劳循环中，应力强度最大值误差不应大于5％，在KIc试验中推荐的夹头（图1和图2）也适用于预制疲劳裂纹，采用支座和夹头加载的K值标定关系分别在第9·1·3、9·1.4和9·1·5中给出，如果使用不同夹头，则应当在使用那些夹头的情况下通过实验来建立〔7〕，特别是，当疲劳循环中出现载荷反向时，K标定对夹紧试样所必须的夹持力的分布是很敏感的。

7·4·2、在疲劳裂纹扩展的最后阶段，至少对缺口加裂纹的总长的最后2.5％扩展量来说，疲劳循环的最大应力强度对杨氏模量的比Kf（max）／E应不大于0.0001吋$^{1/2}$（0.000032米）$^{1/2}$，此外，如果要把随后测定的KQ认为有效的KIc结果（见9·1）则Kf（max）还必须不超过KQ值的60％。

7·4·3、应力强度幅度应不小于0.9Kf（max）。

7·4·4、当在温度T_1下预制疲劳裂纹而在另一温度T_2时作试验，则Kf(max)不能超过0.6（σys_1／σys_2）KQ，式中σys_1和σys_2分别为温度T_1和T_2时的屈服强度。

注4.某些材料脆得一做预制疲劳裂纹就断，这些材料不在本标准试验方法范围之内。

注5.K标定是应力强度因子K与载荷，试样尺寸之间的关系〔1〕o，实例见9·1·3和

9·1·4和9·1·5。

8、试验程序

8·1试验次数 —建议至少做三次重复试验。

注6·试验结果分散性的资料可在文献〔1〕、〔8〕、〔9〕中找到。

8·2试样测量 —所有试样尺寸应该在图4图5和图6所示的公差之内。

8·2·1在疲劳裂纹尖端和试样光滑边之间不少于三点的位置上测量厚度B。记下平均值，精确到0.001吋（0.025毫米）或精确到0.1%以内，（取大者）。

8·2·2、对弯曲试样 —要从试样缺口边分别到对面光滑边和裂纹前缘测出试样宽度W和裂纹长度a，对紧凑拉伸试样，要从两个加载孔中心线来测量这些尺寸（缺口边是一个方便的参考线，但必须把孔中心线到缺口边缘的距离减去，以求得W和a），要在靠近缺口不少于三个位置上测量W，记录其平均值。要精确到0.001吋（0.025毫米）或0.10%，取其大者。

8·2·3、C形试样在试验前测量（r_1-r_2），精确到0.001吋(0.025毫米)或者0.1%，取其大者。在直接接近引发裂纹缺口嘴的两边的厚度中央位置测量(r_1-r_2)，记录这两个读数的平均值为W，同时在四个位置测量（r_1-r_2），二个尽可能接近加载孔，二个接近加载孔和裂纹平面的$\frac{1}{2}$园周处，若四个测量点中的任何一个差大于试样W的10%，则应舍弃或重新加工，其次，测量加载孔中心和试样缺口平面处的试样外表面之间的距离，要精确到0.001吋（0.025毫米）或0.10%（取其大者），这测量应在加载孔参考线两边进行，这二个测量的平均值减去W所得值记录作为x。测量外边沿半径r_2要精确到5%以内。倘若不可能的话，测定r_2的平均值按下法（见注7）：测量外表面的线长度L，精确到5%，这线通过两加载孔中心（见图5C），用这测量值计算。

$$r_2=\frac{L^2}{8(w+x)}+\frac{w+x}{2}$$

而$r_1/r_2=1-w/r_2$

注7—当相对裂纹长度a／w不低于0.3吋，r_1/r_2比率的10%变化将给应力强度因子以10%或更小的影响，但是，这种试样采用的应力分析是建立在从均匀的，带有轴对称横截面的原材料上切取试样的假定上，如果检查表明原材料轴对称偏差超过10%，则应在这范围内重新加工。

8.2.4、断裂后，试样裂纹长度的测量应精确到0.5%（见注8、对测量C形试样而言），在以下三个位置：在裂纹前沿中心和裂纹前沿每边的末端和中央之间的中点。用这三个测量点的平均值作为计算KQ的裂纹长度（见9.1.3、9.1.4和9.1.5），若测量的任何两个裂纹长度之差超过平均裂纹长度的5%或者裂纹前沿的任何部分到机械切口的根部的长度小于平均裂纹长度的5%或0.05吋（1.3毫米）中二者的最小值。则试验无效。同时，若表面裂纹痕迹任一长度低于平均裂纹长度的90%如上所规定，试验无效。

注8—由于C形试样的曲率，从裂纹引发缺口嘴的参考点到裂纹前沿点测的长度稍大于从裂纹平面和试样内园周假象交点到相应点距离，见图5（C），误差e可从下面

表达式计算之： $e = r_1 - (r_1^2 - \frac{g^2}{4})^{\frac{1}{2}}$

这里g是横过用于测量裂纹长度的裂纹嘴参考点的距离，若加工刀口用于支承夹式引伸计[例如0.25吋（6.4毫米）如图7（b）]，应注明g可以等于N（图6（a）或大于N，若相对误差e／m∠0.01，这里m是从缺口嘴参考点到裂纹前沿测得的距离，这时把m记作裂纹长度。若相对误差大于0.01，则e应能从m中扣除，然后作为裂纹长度值记录。

8.2.5、裂纹平面应与试样宽度和厚度方向平行，偏差在±10°以内（7）。

8.3、弯曲试验——安装好弯曲试验底座使所加载荷的作用线通过两个支撑辊中心间距离的中点，偏差不超过该跨距的1%，〔例如当跨距为4吋（100毫米）时，偏差不超过0.04吋(1.0毫米)〕，跨距测量要精确到名义长度的0.5%以内，要把试样放成使裂纹处于两个支撑辊正中间，偏差不超过跨距的1.0%，并且要使试样和支撑辊的轴线成直角，偏差在2°以内，把引伸计放在刀口上时，要使刀口和引伸计的凹槽配合好，当使用附加刀口时，要在拧紧刀口定位螺钉之前装上引伸计，试件的加载速率，应使应力强度因子的增加率在30～150千磅／吋$^{3/2}$／分（0.55～2.75兆巴米$^{1/2}$／秒）范围内，即相当于使1吋(25.4毫米）厚的标准试样（B＝0.5w）具有4—20千磅／分（0.30～1.5千牛顿／秒）之间的加载速率。

8.4、紧凑和C形试验——严守图2中所示的试样夹头和销钉的规定公差才能消除摩擦效应以及U形夹头本身引入的偏心距，由于U形夹头以外的不对中或试样位置对于U形夹头槽口的中心不正确能导致加载的偏心，为此，在试验时保证上下加载杆中心在0.03吋(0.76毫米)以内，并把试样放在夹头槽口中心，使其偏差亦在0.03吋(0.76毫米)以内，这样就可以得到满意的对中，把引伸计放在刀口上，并保持刀口和引伸计沟槽很好配合，如使用附加刀口时，则在刀口定位螺钉拧紧以前安装上引伸计，紧凑和C形试样加载速率相当于应力强度的增加率在30,000～150,000磅／吋$^{3/2}$／分（0.55～2.75兆巴·米$^{1/2}$/秒之间，即相应于标准（B＝0.5w）1吋厚（25.4毫米）试样的加载速率如下：

（1）紧凑试样和C形试样（x／w＝0）用4500和22,500磅／分（0.34～1.7千牛顿／秒）之间。

（2）C形试样（x／w＝0.5）用2800～14000磅／分（0.20～1.0千牛顿／秒）。

8.5试验记录——试验记录是由记录载荷传感器和引伸计同时输出信号自动绘制的；与普通拉伸试验曲线一样，以垂直轴作为载荷，并使线性部分的初始斜率在0.7～1.5之间，应恰当地选负荷传感器和自动记录仪组合，以便从试验记录图上按±1%的精度测定载荷PQ（见9.1），对任何设备，选用的试验记录的比例越大，则读数的精度也就越高。

8.5.1试验一直进行到试样维持载荷不再增加时为止，有时，记录纸范围将不能完全包括直到最大负荷pmax的全部试验记录，无论如何，要从试验机的表盘（或其它精确指示器）读出最大载荷，并且记录在图纸上。

9、结果的计算和解释

9.1试验记录的解释和KIc的计算：为了确定所测的KIc是否有效，首先必须计算

一个条件KQ值，这就是在试验记录上作图，然后，按照7.1去决定这个结果与试样尺寸和屈服强度是不是相协调，其程序如下：

9.1.1、如图 8所示，在试验记录上通过原点画割线Op_5，其斜率 $(p/v)_5=0.95(p/v)_{o_0}$ $(p/v)_o$是记录曲线初始部份切线OA的斜率（注9），确定载荷PQ的方法是：如果在p_5以前记录曲线上每一个点的载荷都低于p_5，则取PQ等于 p_5（图8Ⅰ型），但如果在 p_5以前还有一个最大负荷超过于 p_5，则取这个最大载荷为PQ（图8Ⅱ型和Ⅲ型）。

注9、记录曲线最初部份往往出现轻微的非线性，可予以忽略，然而，高精度地确定记录图的初始斜率又是很重要的，为此，用予先加载和卸载的办法来减小非线性是可取的。加卸载时，所用最大载荷产生的应力强度水平不得超过制备疲劳裂纹最后阶段所用的应力强度水平。

9.1.2. 计算Pmax／PQ，pmax 是试样所能承受的最大载荷（见8.5.1），如果这个比值不超过1.10，则可按9.1.3计算弯曲试样，或按 9.1.4计算紧凑试样或9.1.5C 形试样的KQ，如果Pmax／PQ超过1.10，则试验就不是有效的KIc试验，因为这时KQ与KIc可能没有什么关系，在这种情况下，可按9.1.7计算弯曲试样的Rsb 或按9.1.8计算紧凑拉伸样的Rsc或按9.1.9计算C形试样的 Rsd，此外，如果有可能的话，应当制备并试验追加的试样，其尺寸至少应为Pmax／PQ超过1.10时试样尺寸的1.5倍。

9.1.3对弯曲试样按下式计算 KQ，单位是磅／吋$^2\cdot\sqrt{吋}$（兆巴米$^{\frac{1}{2}}$）（注10）

$$KQ=\frac{PQS}{BW^{3/2}}f\ (a/w)$$

式中 $f\ (a/w)=\dfrac{3\ (a/w)^{\frac{1}{2}}[1.99-(a/w)(1-a/w)(2.15-3.93a/w+2.7a^2/w^2)]}{2\ (1+2\ a/w)\ \ (1-a/w)^{3/2}}$

PQ—按9.1.1.中测定的载荷	磅力（千牛顿）
B—试样厚度	吋（厘米）
S—跨距	吋（厘米）
W—试样宽度	吋（厘米）

a—按8.2.4中测定的裂纹长度，吋（厘米）

9.1.3.1为方便KQ的计算，对a／w的一些特定值，制成下列f（a／w）值表格：

弯 曲 试 样：

a／w	f（a／w）	a／w	f（a／w）
0.450	2.29	0.500	2.66
0.455	2.32	0.505	2.70
0.460	2.35	0.510	2.75
0.465	2.39	0.515	2.79
0.670	2.43	0.520	2.84
0.475	2.46	0.525	2.89
0.480	2.50	0.530	2.94

0.485	2.54	0.535	2.99
0.490	2.58	0.540	3.04
0.495	2.62	0.545	3.09
		0.550	3.14

9.1.4对紧凑试样按下式计算KQ，单位是磅／吋^2·$\sqrt{吋}$（兆巴米$^{\frac{1}{2}}$）（注10）：

$$KQ=(PQ/BW^{1/2})f\ (a/w)$$

$$式中\ f\ (\frac{a}{W})=\frac{(2+\frac{a}{w})(0.886+4.64\frac{a}{w}-13.32\frac{a^2}{w^2}+14.72\frac{a^3}{w^3}-5.6\frac{a^4}{w^4})}{(1-\frac{a}{w})^{3/2}}$$

PQ—按9.1.1测得的载荷，磅力（千牛顿）

B—试样厚度，　　吋　　（厘米）

w—按8.22测得的试样宽度，　吋　　（厘米）

a—按8.2.4测得的裂纹长度，　吋　　（厘米）

注10—在9.1.3表示式中，考虑在a／w从0到1的全体范围内精确到±0.5%内（对s／w＝4±0.01），在9.1.4表达式中，在a／w从0.2到1的全体范围内精确到±0.5%（12.13），这些表达式用于本方法外当然是可用的。

9.1.4.1为方便KQ的计算对a／w的一些特定值，对f（a／w）的一些值制成下列表格：

紧　凑　试　样

a／w	f（a／w）	a／w	f（a／w）
0.450	8.34	0.500	9.66
0.455	8.46	0.505	9.81
0.460	8.58	0.510	9.96
0.465	8.70	0.515	10.12
0.470	8.83	0.520	10.29
0.475	8.96	0.525	10.45
0.480	9.09	0.530	10.63
0.485	9.23	0.535	10.80
0.490	9.37	0.540	10.98
0.495	9.51	0.545	11.17
		0.550	11.36

9.1.5.对C形试样由下式计算KQ 单位磅／吋$^2\sqrt{吋}$（兆巴米$^{\frac{1}{2}}$）（注11）：

$$KQ=[PQ/Bw^{\frac{1}{2}}][f\ (a/w)][1+1.54x/w+0.50a/w][1+0.22(1-(a/w)^{1/2}][1-r_1/r_2]$$

式中$f\ (a/w)=(a/w)^{1/2}[18.23-106.2a/w+379.7\ (a/w)^2-582.0(a/w)^3+369.1\ (a/w)^4]$

$0.45 \leqslant a/w \leqslant 0.55$　　$x/w = 0.0$和0.5　　$0 \leqslant r_1/r_2 \leqslant 1.0$

PQ—按9.11测定载荷　　磅力（千牛顿）

B—按8.2.1测定的试样厚度　　吋　　（厘米）

x—按8.2.3测定的加载孔辅助量　　吋　　（厘米）

w—按8.2.3测定的试样高度　　吋　　（厘米）

a—按8.2.4测定的裂纹长度　　吋　　（厘米）

$r_1/_2$—按8.2.3测定的内外半径的比

9.1.5.1.为方便计算KQ值，对a／w的一些特定值。制成下列f（a／w）值表格：

a／w	f（a／w）	a／w	f（a／w）
0.450	6.32	0.505	7.45
0.455	6.42	0.510	7.57
0.460	6.51	0.515	7.69
0.465	6.60	0.520	7.81
0.470	6.70	0.525	7.94
0.475	6.80	0.530	8.07
0.480	6.90	0.535	8.20
0.485	7.01	0.540	8.34
0.490	7.11	0.545	8.48
0.495	7.22	0.550	8.62
0.500	7.33		

注11—在9.1.5中表达式中，考虑在$0.45 \leqslant a/w \leqslant 0.55$规定范围内精确到±1％以内，但是，更宽范围几何形状能够作为其它目的用。对$0.3 \leqslant a/w \leqslant 0.7$和$0 \leqslant x/w \leqslant 0.7$和$0 \leqslant r_1/r_2 \leqslant 1.0$，在9.1.5中表达式中确信精确到2％以内（14）。

9.1.6计算$2.5(KQ/\sigma ys)^2$式中σys＝拉伸屈服强度，（偏离＝0.2％）（见E 8方法）若这个量低于试样的厚度和裂纹长度，则KQ等于KIC，否则，为了满足需要，必须使用较大的试样尺寸测定KIC，尺寸的增加可以在KQ的基础上估计，但这个尺寸至少是必有满足这个要求的试样尺寸的1.5倍。

9.1.7.弯曲试样—计算弯曲试样强度比（它是无量纲量，且对任何统一单位制来说都具有同样的值）。

$Rsb = 6Pmax\ w/B\ (w-a)^2\ \sigma ys$　　式中：Pmax 试样能承受的最大载荷（见8.5.1）

B　试样厚度　　w　试样的宽度（高度）　　a　按8.2.4测定的裂纹长度

σys拉伸屈服强度（即偏离＝0.2％）（见方法E 8）

9.1.8紧凑试样—计算紧凑试样强度比（它是无量纲的量，且对任何统一的单位制来说都具有同样的值）：

$Rsc = 2Pmax\ (2w+a)\ /B\ (w-a)^2\sigma ys$

式中的符号与9.1.7中的规定相同。

9.1.9C形试样计算强度比（它是无量纲量，且对任何统一单位制来说都具有同

样的值）：

$$Rsd = 2Pmax\ (3x + 2w + a)\ /B\ (w - a)^2 \sigma ys$$

式中的符号与9.1.5和9.1.7规定相同。

注12：试样强度比Rsb，Rsc及Rsd与KIc不同，它不是线弹性断裂力学概念，但是，当试样的形状和尺寸相同时，虽然试样的尺寸不足以测定有效KIC，但却使最大载荷是在范性失稳以前由显著的裂纹扩展引起的，则试样强度比是材料韧性的有用的相对度量（见4.1.3）。

9.2.裂纹平面的取向—材料的断裂韧性，通常取决于裂纹的取向和扩展方向，以及机械加工的主方向或晶粒流向。裂纹平面的取向均应尽可能按下面的坐标系来鉴别〔11〕此外，还应注明产品的形状（例如轧板，交叉轧板，锻饼等）。

9.2.1矩形试样截面的参考方向按图9和图10来确定的，此处以轧板为例，同一坐标系也适用于薄板，挤压及晶粒变形不对称的锻件。

L—主变形（最大晶流向）方向

T—最小变形方向。

S—第三正交方向。

9.2.1.1用双字母标记时，第一个字母表示裂纹平面的法线方向，第二个字母表示预期的裂纹扩展方向，例如图9中T—L试样有一个法线为板宽方向的断裂面，预期的裂纹扩展方向与晶粒最大流动方向或板的纵向一致。

9.2.1.2.与两个参考轴成倾斜角度的试样，用三个字母来标记取向（见图10）如L—TS表示裂纹平面垂直于主变形方向（L方向），预期的断裂方向在T和S方向之间，TS—L表示裂纹平面垂直于T和S间的一个方向，预期的断裂方向是L方向。

9.2.2.对某些主变形方向平行于圆柱纵轴的园柱体的截面，以拉拔棒为例，其参考方向的鉴别如图11所示，同样的方法也适用于挤压件或园形截面的锻件。

L—最大晶粒流动方向。

R—沿直径方向。

C—园周方向或切线方向。

9.2.3C形试样用于测定这样断裂韧性，它的裂纹平面的法线在园周或切线方向，而裂纹扩展方向在径向，这是C—R取向，如在9.2.2中规定那样，对于其它取向，应该采用弯曲或紧凑KIC试样。

9.3.断口形貌—断口形貌是很有价值的补充资料，对每个试样都应当注明，常见断口形貌的型式如图12所示，对a型或b型断口，可测量中心平断口部份的平均宽度f，注意并记下每单位厚度斜断口的比例（B—f）/B，在裂纹尖端和试样无切口边的中间进行测量。将C型断口报告为斜断口。

10、报　　告

10.1.报告应包括被测试样的下述项目。

10.1.1厚度B

10.1.2宽度w

10.1.2.1加载孔的辅助量x（对c型试样）

10.1.2.2.内径r_1和外径r_2（对c型试样）

10.1.3.预制疲劳裂纹的条件，包括：

10.1.3.1最大应力强度Kf（max）和至少是裂纹总长度（缺口加裂纹）的2.5%的长度上最终疲劳裂纹扩展的循环周期数。

10.1.3.2裂纹扩展最终阶段的应力强度幅值。

10.1.4裂纹长度测量。

10.1.4.1在裂纹前缘中心。

10.1.4.2在裂纹前缘中心和两边端点的正中间。

10.1.4.3.在每一个侧表面。

10.1.5试验温度

10.1.6根据方法E337测定相对温度[4]

10.1.7以KI表示的加载速度（单位时间应力强度因子的变化）[2]。

10.1.8载荷—位移记录图及有关计算。

10.1.9.裂纹平面取向。

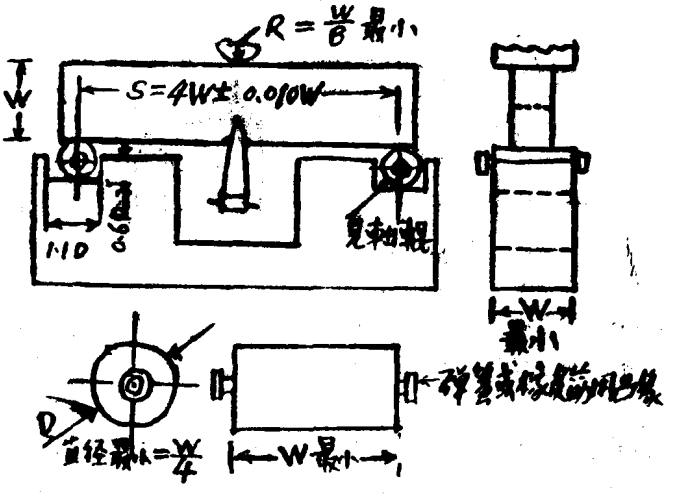
10.1.10断口形貌

10.1.11用方法E 8 测定屈服强度（即偏差＝0.2%）

10.1.12KIc值或KQ值（注明根据 ASTME399，方法的某条它不能作为有效 KIC 值）。

10.1.13计算弯曲试样的Rsb紧凑试样的Rsc和C型试样的Rsd。

10.1.14.Pmax／PQ。



注1 —— 尺寸以吋为单位

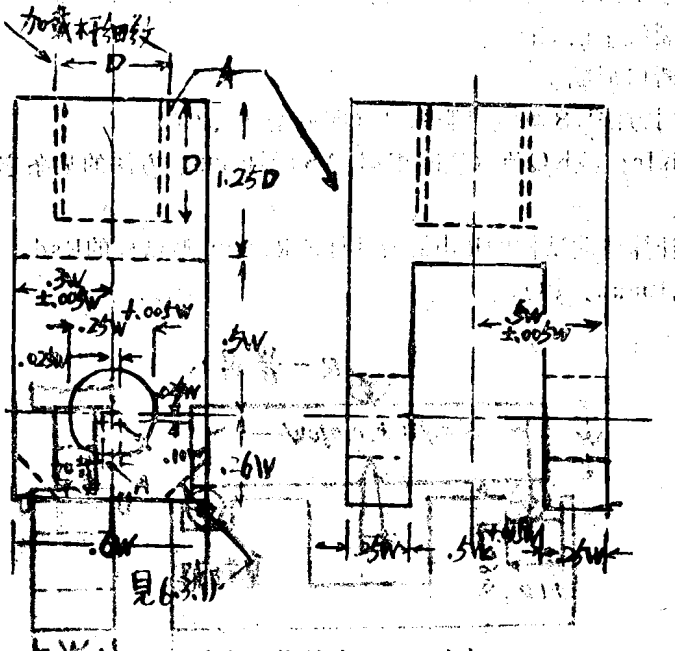
注2 —— 用于1吋和2吋高的试样，其它尺寸的试样按比例处理。

注3 —— 加载压头在试样表面上的接触线应与支撑辊平行，偏差在0.002W以内。

单 位 对 照

吋	毫 米	吋	毫 米	吋	毫 米
0.2	5.1	1.002	25.45	2.6	66
0.3	7.6	1.10	27.9	3.495	88.77
0.6	15.0	1.495	37.97	3.505	89.03
0.75	19.1	1.5	38	3.6	91
0.998	25.35	1.505	38.23	4.0	100
1.0	25.0	2.0	51		

图1.弯曲试验底座设计

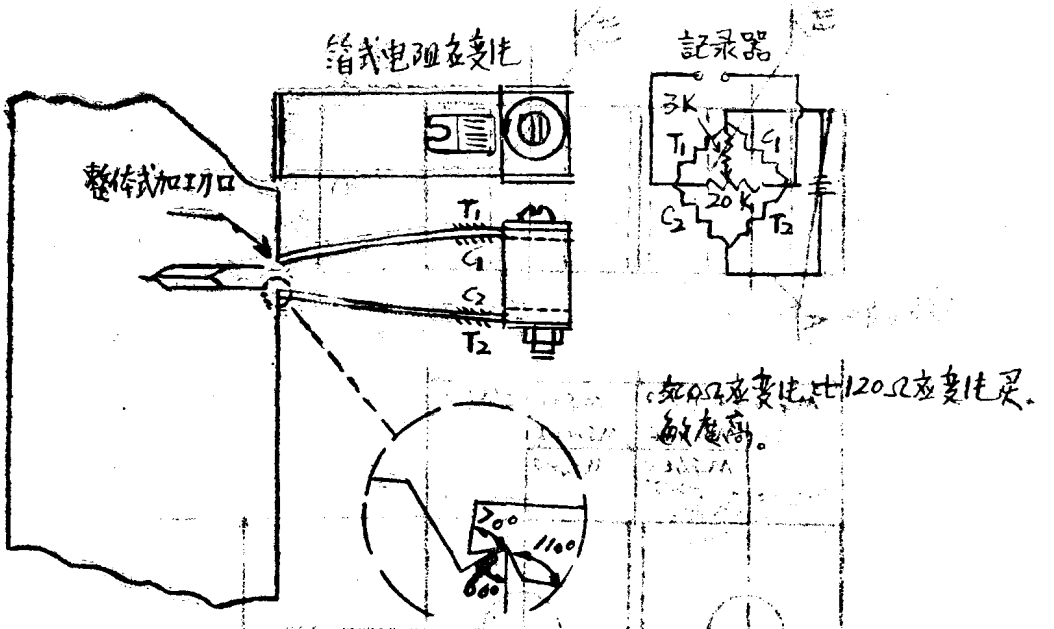


各A面必须平直，平行或垂直，偏差在0.002吋内。

注1 —— 尺寸以吋为单位（0.005吋＝0.13毫米）。

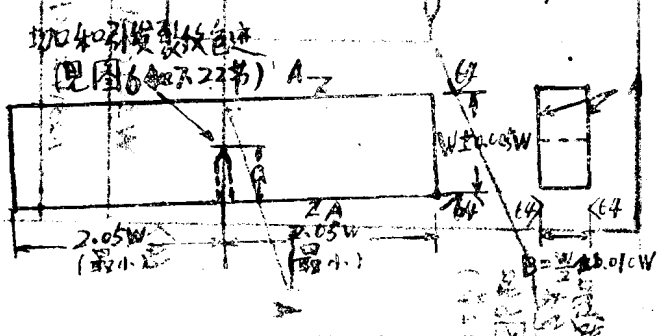
注2 —— 销轴直径＝$0.24W^{+0.000}_{-0.005w}$，对于σ_{ys}＞200千磅／吋^2（1379兆巴）的试样，销孔直径可为$0.3W^{+0.005w}_{-0.000}$，销轴直径可为$0.288W^{+0.000}_{-0.005w}$。

图2.拉伸试验夹具



注 — 引伸计细节见附录

图3. 双悬臂夹式引伸计及其安装法



注1 — 诸A面必须相互垂直或平行，总长度上允许偏差应小于0.001w。

注2 — 裂纹的引发口应垂直于试件的长度和厚度方向，偏差在±2°以内。

注3 — 为把夹式引伸计装到裂缝上，可用整体刀口和附加刀口(见图7和7.2.5节)。

单 位 对 照

吋	0.002	0.005	0.010
毫米	0.05	0.13	0.25

图4.弯曲试样——标准比例和公差（非加工图）。