

中华人民共和国国家标准

塑料 | 型平面应变止裂韧度的测定

Plastics Determination of mode I plane-strain crack-arrest toughness

(ISO 29221:2014,)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时,请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局国家标准化管理委员会 发布

目 次

引	言	奁
1	范围	•
2	规范性引用文件	
3	术语和定义	
4	原理	
5		•
Э		·
	D.」	•
	53 位移计	\$
	5.4 尺寸测量工具	
6	试样	
Ŭ	6.1 概述	•
	6.2 尺寸	
	6.3 初始缺口	
7	试验步骤	
	7.1 试样尺寸的测量	
	7.2 状态调节	
	7.3 载荷	•
	7.4 位移测量	•
	7.5 止裂长度(a _a)测量	•
	7.6 试验次数	•
8	计算及验证结果	•
	8.1 K和 Ka的计算	•
	8.2 有效性要求	•
9	准确度	•
10	○ 试验报告	
	10.1 试验细节	
	10.2 计算	
	10.3 有效性要求(见表1)	
	10.4 断口表面照片记录和描述注释(可选)	
附	录 A (资料性) 使用 V 形槽口测定初始裂纹长度 a₀	
7/4		

附录 C (资料性) 断口可接受性..... 13

GB/T XXXXX-XXXX

附录 D (资料性)	精确度陈述述评	14
参考文献		15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定 起草。

本文件等同采用ISO 29221:2014 《塑料 模式I平面应变止裂韧度的测定》。

本文件与ISO 29221:2014的技术差异及其原因如下:

——增加尺寸测量工具(见5.4)。

一一将 ISO 29221:2014 的 7.2 状态调节中关于试样的内容调整到 6.1 试样的概述节中。

——调整了 ISO 29221:2014 的 7.1 试样尺寸的测量和 7.2 状态调节的顺序。

请注意文件的某些内容肯涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国塑料标准化技术委员会(SAC/TC 15)归口。

本文件起草单位:

本文件主要起草人:

塑料 | 型平面应变止裂韧度的测定

1 范围

本文件规定了一种测定聚合物材料平面应变止裂韧度(Ka)的方法,使用裂纹线楔块加载带侧槽的 紧凑拉伸试样的方法来进行,以获得具有满意裂纹前缘的平拉分离快速裂纹停止段。

本文件采用静态断裂分析确定裂纹止裂后短时间内的应力强度因子,其估计值为Ka,当尺寸满足要求时,该估计值是聚合物平面应变止裂韧度K_{ia}。

本文件要求试样平面尺寸足够大,以允许通过线弹性分析。如果试样没有表现出快速裂纹扩展和停止,*K*就无法确定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件, 仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本 文件。

GB/T 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第1部分: 总则(GB/T 1040.1-2025, GB/T 1040.1:2019, MOD)

GB/T 36805.1 塑料 高应变速率下的拉伸性能测定 第1部分:方程拟合法(GB/T 36805.1-2018, ISO 18872: 2007, IDT)

GB/T 41932 塑料 断裂韧性(Gc和Kc)的测定 线弹性断裂力学(LEFM)法(GB/T 41932—2022, ISO 13586:2018, MOD)

GB/T 44535 塑料 试样线性尺寸的测定(GB/T 44535-2024, ISO 16012: 2015, MOD)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

平面应变裂纹止裂韧度条件值(Ka) **c**onditional value of the plane-strain crack-arrest fracture toughness

根据试验结果计算得到的Ka的条件值,并需要符合所使用的侧槽、裂纹线-楔块加载试件的有效性 准则规定。

注1: 6.的计算是基于在快速扩展裂纹开始之前和裂纹停止之后不久对裂纹扩展长度和裂纹嘴张开位移的测量。

注2: 以N·m^{-3/2}表示。

3. 2

裂纹止裂韧度(Ka) crack-arrest fracture toughness

裂纹刚刚止裂时的应力强度因子值。

注1: 平面内试样尺寸应足够大,以使线弹性应力场能够充分封闭裂纹尖端塑性区。

注2: 以N·m^{-3/2}表示。

3.3

平面应变裂纹止裂韧度(K_{la}) plane-strain crack-arrest fracture toughness 裂纹前缘处于平面应变状态下的裂纹止裂韧度值。

- 注1: 达到裂纹前缘平面应变条件的要求在本文本的程序中规定。
- **注2:** 以N·m^{-3/2}表示。

3.4

裂纹启裂应力强度因子(*κ***)** stress intensity factor at crack initiation 快速断裂开始时的应力强度因子值。

注1: 只需要初始驱动力的名义估计值。因此,K₀是根据初始裂纹(或缺口)长度和快速裂纹起始时的裂纹嘴张开位移 计算的。

注2: 以N·m^{-3/2}表示。

4 原理

本文件用于估算快速扩展裂纹止裂时的应力强度因子&在此测试方法中,将楔块压入分<mark>离销,对改</mark> 进型紧凑试样的裂纹起裂缺口施加张开力,从而引发裂纹扩展-止裂段的裂纹延伸。虽然快速扩展-止裂 现象表明需对测试结果进行动态分析,但实验观测表明,通过调整后的静态分析可有效估算裂纹止裂时 的应力强度因子值。

启裂时名义应力强度因子(K)的计算基于初始缺口长度与启裂时裂纹嘴张开位移的测量值;止裂应力强度因子(K)的计算则基于止裂后的裂纹长度、启裂前及止裂后短时间内的裂纹嘴张开位移的测量值。

5 仪器

5.1 概述

该步骤涉及对通过机械加工开缺口的改进型紧凑试样进行测试。为最大限度减少裂纹扩展-止裂过 程中引入试样的额外能量,加载系统的顺应性应低于试样(即其刚度高于试样)。为此,采用楔形和分 离销组件在裂纹线上施加载荷。由于此加载装置不便直接测量张开载荷,因此需通过张开位移测量结合 裂纹尺寸和顺应性校准来计算*K*和*K*₄值。

5.2 加载装置

典型的加载装置如图1所示。试样置于支撑块上,支撑块厚度应足够以确保测试过程中楔形件与试验机下部横梁无干涉。支撑块应设有与试样孔同轴的对齐孔,孔径为试样孔直径的1.05至1.15倍。迫使楔形件进入分离销的载荷通过载荷传感器传递。

必要时应对楔形件、分离销、支撑块及试样孔表面进行润滑,所用润滑剂不得影响被测聚合物。楔 形件、分离销及支撑块的滑动表面可采用哑光处理(喷砂)以防止咬合。使用小锥角楔形件和分离销组 合,分离销长度应覆盖试样全厚度,其半径应足够大以避免试样产生塑性压痕。建议分离销直径始终比 试样孔径小0.10毫米。楔形件应有足够长度以实现预期的最大张开位移,可采用空气或油淬工具钢制造, 硬度范围Rc45至Rc55已成功应用。图2展示了适用于25 mm加载孔的楔块及分离销组件尺寸,其他孔径使 用时需按比例缩放。

C)





b)

标引序号说明:

- 1 楔块
- 2 分离销或衬套
- 3 试样
- 4 垫块

图1 楔块加载系统-试样组件示意图:

a) 立体视图, b) 标准布置和 c) 支撑块和试样之间存在高摩擦时的配置。



图2 楔块和分离销的推荐几何尺寸

注: 所给出的尺寸适合于直径为25 mm的加载孔, 25 mm~50 mm厚试样。

5.3 位移计

使用位移计在距载荷线(即楔形加载孔的中心线)L=0.25W处测量裂纹嘴张开位移,L为距试样边缘的距离(图3),测量精度需达到满量程的±2%。可采用GB/T 41932所述位移计或类似装置。需确保位移计安装方式不会因裂纹跳跃而改变接触状态。图3展示了已验证有效的安装方法:通过松紧带将位移计固定于试样,可选择平底接触式或刀口滑入试样V型槽的位移计。



标引序号说明:

- 1 V型槽
- 2 加载孔
- 3 侧槽
- 4 位移计
- 5 松紧带

图3 将位移计定位和固定在试样上的方法

更推荐采用V型槽配合松紧带带固定位移计,因为此方法能提供更好的位移计固定稳定性,并确保 初始张开位移读数的一致性。

5.4 尺寸测量工具

试样尺寸测量工具,可精确至±0.01mm。

6 试样

6.1 概述

紧凑型裂纹止裂试样的形状如图4所示。该试样为双悬臂型平板结构,沿含初始缺口的平面加工有侧槽。侧槽有助于在裂纹前沿形成平面应变条件,并确保裂纹在扩展-止裂段保持直线扩展。

试样可通过多种方式模塑成型,随后通过机械加工和缺口处理制成预定尺寸的紧凑拉伸止裂试样。 新制备的试样应根据待测聚合物的具体要求进行预处理,以避免试样制备过程中可能产生的异常情况。

6.2 尺寸

为限制裂纹启裂前的塑性变形。试样应满足一定的尺寸要求,这些要求取决于试样的屈服强度和Ka,以及实现适当的裂纹止裂所需的Ka。此外,平面内试样尺寸应足够大,以允许本试验方法所采用的线弹

性分析。8.2中给出了允许的裂纹扩展长度。对于用这种试验方法将实验结果称为平面应变K_{1a},试样厚度*B*应满足8.2中所述的要求,应使用每侧深度为*B*/8的侧槽,试样宽度W应在2*B*≤№10*B*范围内。其他重要的试样尺寸如图4所示。

试样的尺寸应确保裂纹萌生前的塑性变形程度受限。为此需满足特定尺寸要求,这些要求取决于试样的屈服强度、Ka值以及实现适当裂纹快速扩展-止裂事件所需的K。此外,试样面内尺寸应足够大以适用本测试方法采用的线弹性分析。8.2节根据允许的裂纹扩展长度给出了具体要求。若要通过本测试方法获得平面应变Ka结果,试样厚度B需满足8.2节的规定。应使用每侧深度为B/8的侧槽。试样宽度W应在2B_W≤10B范围内。图4展示了其他关键试样尺寸的示意图。



图4 裂纹线楔加载紧凑止裂试样的建议几何形状和尺寸

6.3 初始缺口

起始缺口的功能是使裂纹在特定张开位移(或楔入力)下萌生,以确保裂纹在止裂前发生适当长度的快速扩展。不同聚合物可能需要不同的起始缺口形式和制备方法。通常,在机械加工初始缺口后,需通过剃刀刻痕、疲劳裂纹或其他适当方法制作最终起始缺口。研究表明,采用剃刀刻痕时,刻痕速度应适当以避免缺口尖端损伤。

对于相对脆性的聚合物(如聚苯乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯),机械加工的缺口(如图4中的a_m)足 以引发裂纹萌生且不产生屈服。然而,聚碳酸酯的缺口在达到初始张开位移时会导致充分屈服,使裂纹 贯穿试样宽度而无法止裂。研究表明,使用V型缺口可解决此问题(见参考文献[10]和[14])。V型缺口 的初始裂纹长度ao测定方法见附录A。对于聚甲醛、尼龙和聚乙烯等聚合物,仅使用V型缺口不足以产生 扩展裂纹。此时,可通过液氮将起始缺口冷却至玻璃化转变温度(Tg)以下以抑制屈服,从而引发自止 裂裂纹。具体方法如图5所示:在最终剃刀缺口附近钻孔,插入铜管循环液氮。此技术可使剃刀缺口有 效引发脆性裂纹萌生。建议在缺口尖端前方约10 mm的侧槽附近安装热电偶,用于加载前监测裂纹尖端 温度。钻孔深度为0.25倍试样厚度(0.25B)以容纳热电偶导线。



标引序号说明:

1 凹口尖端冷却孔

2 <mark>剃刀槽</mark>

图5 改进的裂纹尖端低温暴露止裂试样

7 试验步骤

7.1 试样尺寸的测量

根据GB/T 44535的要求,测量和记录试样尺寸。测量试样厚度B和裂纹平面的净厚度*Bw*,准确到*B*的 ±1%以内。此外,测量试样宽度W,准确到*P*的±1%以内。

7.2 状态调节

测试试样应在试验温度下调节24h后方可进行测试。

7.3 载荷

将楔形加载系统及试样组件安装到能够以恒定速率施加载荷的试验机上。按5.2所述方法,通过适 当方式将位移计固定到试样上。通过楔形分离销组件对试样施加载荷,直至快速扩展裂纹萌生。加载过 程中应记录楔形载荷与裂纹嘴张开位移的关系,典型的裂纹扩展-止裂记录如图6所示。加载时横梁速度 应控制在2 mm/min至25 mm/min范围内。

为测定*Ka*,需产生一段不稳定裂纹扩展。不稳定裂纹扩展通常可通过声响及试验记录中载荷的骤降现象判断。事件发生后应卸除楔形载荷以避免裂纹进一步扩展。

若加载时,张开位移增大却伴随楔形载荷恒定或下降,则表明裂纹尖端可能发生显著屈服或稳定撕裂。此类情况下,试样通常不会呈现快速扩展-止裂断裂行为。若出现此现象,建议终止试验,并使用 6.2所述的改进缺口技术重新制备试样进行测试。

注1: 虽然预期起始缺口的a₀值通常在0.30 W≤a₀≤0.40 W之间,但必要时可采用低至0.20的值。较低的a₀/W值会加速裂纹驱动力下降,有助于缩短止裂裂纹长度,适用于初始a₀/W值较大时裂纹扩展过长的情况。

注2: 当采用缺口尖端冷却方法引发自止裂裂纹时,计算的是试验温度下的K,而不是K。



1 最大负载, P_{max} (N)

2 裂纹停止后短时间载荷, Parrest (N)

2 税以门 止 们 应 们 问 以 问 , I arrest

3 最大载荷时的位移 δ_0 (mm)

4 裂纹停止后短时间位移, δ_a (mm)

图6 裂纹开裂-止裂的典型实验载荷位移曲线

该方法通过向楔形件施加载荷直至裂纹快速萌生,因此无法直接测量由楔形-分离销组件施加至试 样的张口载荷。试样所受载荷需通过裂纹嘴张开位移的测量值间接获取。因此,必须仔细布置试样的定 位、载荷传递系统及裂纹嘴处的位移计安装,这些因素均会影响张开位移的测量精度。

7.4 位移测量

根据楔块载荷与裂纹嘴张开位移的关系图(见图6),确定与不稳定裂纹产生(δ_0)和裂纹止裂相对应的位移(δ_a)。

7.5 止裂长度(a_a)测量

经历过裂纹扩展-止裂过程的试样,其止裂裂纹长度可通过以下步骤测定:首先将试样完全断裂为 两半,随后测量断口表面从裂纹加载线至裂纹止裂位置的距离。可使用测试时所用的楔形装置将试样断 裂,将试样置于干冰或液氮中冷却可显著简化此过程。需先检查断口表面是否存在足以导致测试结果无 效的严重不规则形貌。若出现隧道状扩展(裂纹未沿一侧或双侧侧槽延伸)、断口表面存在大面积未断 裂韧带等现象,均可能导致*K*a值测定结果错误。尽管大多数聚合物的裂纹止裂位置较易确定(见图7), 若无法清晰辨识,可采用任何不影响止裂位置测量的标识方法。



图7 裂纹扩展-止裂试样的两半断口表面,标明了裂纹止裂位置

止裂裂纹长度a。定义为三次测量值的平均值。测量应在断口表面的试样中心(厚度中点)以及两侧 侧槽底部与中心之间的中点位置进行,精度需控制在1%以内。由于裂纹前沿可能存在不规则形貌,建议 以每个测量位置为中心,沿宽度为B/4的带状区域进行目视平均测量(见图B.1)。

注: 建议在测试报告中附上断口表面的照片记录,尤其是当裂纹前沿轮廓存在异常扰动时。补充描述性注释也有助于结果分析。

7.6 试验次数

建议在给定温度下至少获得三个有效的测试结果。

8 计算及验证结果

8.1 K和 Ka的计算

使用公式(1)计算Ko和Ka:

 $K = E \delta f(\phi) (B/B_N)^{0.5} / W^{0.5} (Nm^{-3/2})$ (1)

其中,

```
\mathbf{f}(\varphi) = (1-\varphi)^{0.5} (0.748 - 2.176\varphi + 3.56\varphi^2 - 2.55\varphi^3 + 0.62\varphi^4 \dots (2)
```

公式(1)至公式(3)中术语的定义如下:

- E——拉伸模量,单位为牛顿每平方米(N/m²);
- a——通过7.5确定的初始裂纹长度(a_n)或最终止裂长度(a_a),单位为米(m);
- ₩——试样宽度,单位为米(m);
- B——试样厚度,单位为米(m);
- ℞──试样在断裂面处的厚度,单位为米(m);
- δ ——裂纹嘴张开位移,单位为米(m)。
- **注**:本文本中f(φ)的表达式是基于曲线拟合的边值配置结果和精确极限解[15]。在0.20≤φ≤1范围内,拟合精度 在1%以内,与实验符合性结果吻合较好。

用 $a=a_0$ 和 $\delta=\delta_0$ 来确定K的值。同样,用 $a=a_a$ 和 $\delta=\delta_a$ 来确定 K_{a} 的值。

8.2 有效性要求

在满足表1所示判据的情况下,由式(2)计算的Koa值可视为线弹性平面应变止裂韧度值Ka。

特征	判据	
未断韧带	(A) $\mathscr{W}_{a} \geq 0.15 \mathscr{W}$	
未断韧带	(B) $\mathscr{W}_{a_a} \geq 1.25 (\mathrm{Ka}/\sigma_{\mathrm{YD}})^2$	
厚度	(C) $B \ge (Ka / \sigma_{YD})^2$	
裂纹扩展量	(D) $a_a - a_0 \ge 2N$	
裂纹扩展量	(E) $a_a - a_0 \ge (Ka / \sigma_{\rm YS})^2 / 2\pi$	

表1 保证 Kaa 是线弹性平面应变止裂韧度值的判据

注: 在以下内容中使用了σ_m,即适当加载时间的正式动态屈服强度估计(GB/T 36805.1)。对于塑料材料而言,σ_m 通常稍大于按照GB/T 1040.1标准测量的静态屈服强度σ_m。与快速扩展裂纹尖端附近的屈服相关的高应变率以 及裂纹止裂现象的突发特性表明,σ_m比σ_m的真实提升幅度应当更大。因此,本文件中采用的σ_m值被认为大大低 估了裂纹止裂时对塑性流动的实际有效阻力。[7]

9 精密度

在本版文件中未能纳入关于测量精密度的声明,但计划在获得相关信息时补充此类声明。

10 试验报告

10.1 试验细节

试验报告至少应包括以下信息:

- 1)参考的标准(即GB/T xxxx-xxxx);
- 2) 测试日期;
- 3) 材料类型和试样的完整性鉴定;
- 4) 试样制备细节(模塑、机械加工和开槽细节);

5)机械性能数据[拉伸模量、屈服强度(由GB/T 1040.1确定)以及8.2中使用的动态屈服强度(GB/T

36805.1)];

- 6) 切口的类型(剃刀、V形等)和准备细节;
- 7) 侧槽宽度N和槽根半径R;
- 8) 缺口尖端冷却孔的直径,以及离裂纹载荷线的位置(如果有的话);
- 9) 试样厚度B,裂纹面厚度B,个,厚度比B,/B,以及宽度W;
- 10) 试样调节细节;
- 11)用于将试样分成两部分以显示断裂表面的方法;
- 12) 裂纹长度的测量方法;
- 13) 机加工缺口处的裂纹长度am,以及初始裂纹长度a0;
- 14) 止裂长度aa (见附录B):
 - a) 在中等厚度(*B*_A/2), **a**_{a2};
 - b) 在净厚度的1/4点处($B_a/2 \pm B_a/4$), a_{a1} 和 a_{a2} ;
 - c) 止裂时的平均裂纹长度, $a_a=(a_{a1}+a_{a2}+a_{a3})/3$;
- 15) 试验的载荷-位移记录;
- 16) 从载荷-位移记录中测量的位移(在不稳定裂纹扩展开始时的δ。值,在裂纹停止时的δ。值)

10.2 计算

Ko和Koa (Kia) 值的计算。

10.3 有效性要求(见表1)

- a) 未开裂韧带长度与 0.15 W 和 1.25(K_{Qa}/σ_{YD})²)相比;
- b) 厚度与 1.0(K_{Qa}/σ_{YD})²)相比;
- c) 裂纹扩展长度与 2 N和(K₀/σ_{YS})²/2π相比。

10.4 断口表面照片记录和描述注释(可选)

断口照片记录及说明。

附 录 A (资料性) 使用 <mark>V 形缺</mark>口时初始裂纹长度 為的测定

当使用V形缺口时,初始裂纹长度a。由断裂面确定。图A.1b)显示了包含V形缺口的聚碳酸酯断裂表面的照片和示意图。在加载时,裂纹在V形缺口的顶点开始,首先以稳定的方式,然后不稳定,如图A.1b)中的断裂表面所示。在本例中,a。值取裂纹载荷线到加工V形缺口尖端的距离(a,)加上稳定裂纹扩展所覆盖的距离a,如图A.1a)所示。当区域I的边界不是如图所示的直线时,长度a.应确定为平均值。图A.2 是带有V形缺口的聚乙烯的裂纹扩展停止断裂面示例图。



说明**:**

- P₀载荷方向;
- 1 <mark>V形</mark>缺口
- 2 裂纹扩展方向
- 3 区I: 裂纹扩展缓慢
- 4 区II: 裂纹快速扩展
- 5 侧槽

图A.1 V 形缺口: a) 初始裂纹长度 a 和 b) 断裂表面的示例图



图A.2 带有 V 形缺口的聚乙烯试样裂纹扩展和停止的断裂表面示例

附 录 B (规范性) 止裂长度(a。)的测量程序

如7.5所述,止裂长度aa取试样断裂表面三次测量的平均值。这些测量应在试样的中心(*B*₄/2)和试 样中心与侧槽边缘之间的中间位置,每一侧都是如此(*B*₄/2±*B*/4)。进一步指出,在每个测量位置处, 测量值应作为宽度为*B*₄/4的条带上裂纹前缘位置的可视平均值,以测量位置为中心。指定目测平均值是 为了避免在可能不能准确表示测量位置附近的裂纹前缘的局部平均位置的点进行测量。



说明:

1 侧槽齿尖

2 裂纹扩展方向

图B.1 止裂长度测定示例

止裂长度平均值: $a_a = (a_{a1}+a_{a2}+a_{a3})/3$ 其中, a_{a2} 为中间厚度 ($B_a/2$) 的裂纹长度; a_{a1} , a_{a3} 为1/4净厚度 ($B_a/2\pm B_a/4$) 点处的裂纹长度。

附 录 C (资料性) 断口可接受性

止裂试样的理想化断裂是平坦的、连续的、笔直的。虽然这种理想化在实践中可以非常接近,如图 C.1所示,但止裂试样的断裂表面可能会因一些特征而变得复杂,当这些特征出现过多时,会导致对聚 合物止裂韧度的测试结果产生产生怀疑。偏离理想端口表面形貌的情况一般分为三类,包括残余韧带的 存在(图C.2)、裂纹前缘缺乏直线度(如图C.3所示的倾斜裂纹前缘和隧道),以及平面外裂纹扩展(图 C.2)。在不影响测试结果的情况下,这些行为中的一种或多种可以发生的程度目前还不容易量化,因 此,主要取决于执行和评估测试的个人的判断和经验。所以通过循环计划建立评估可接受断裂表面的指 南是非常重要的,在循环计划中,可以详细调查断裂表面的可接受性。



图C.1 在止裂试样上观察到的直止裂前沿



图C.2 裂纹偏离侧槽平面的情况和断裂表面上残余的韧带



图C.3 显示裂纹前端直线度不足(隧道)的止裂试样

附 录 D (资料性) 精确度声明

为了建立本方法的精密度声明,进行了国际循环试验。八个国家参加了试验,然而,只有四个国家 能够取得结果。其中,来自两个国家的结果是有意义的,因此,精确度声明得等到更多的可用结果。两 个国家的结果汇总见表D.1。

试样编号	止裂韧度 (MN·m ^{-3/2})				
	A国	国家B-1	国家B-2		
1	1.312	1.369	1.370		
2	1.531	1.702	1.548		
3	1.634	1.511	1.486		
4	1.373	1.698	1.677		
5	1.422	1.627	1.625		
平均值	1.454	1.581	1.541		
标准差	0.128	0.0142	0.120		

表D.1 循环试验总结

所有试样的平均值为1.526 MN·m^{-3/2},标准偏差为±0.133 MN·m^{-3/2}。

A国和B国分别使用了机械位移计和非接触式光学位移计。

B-1和B-2是来自同一国家的结果,在楔块表面上使用了不同的润滑剂。

参考文献

- 1) Takahashi K., & Arakawa K. Dependence of Crack Acceleration on the Dynamic Stress Intensity Factor in Polymers, Experimental Mechanics, 27, 1987, p. 2,
- Popelar C. H., & Kanninen M. I. A Dynamic Viscoelastic Analysis of Crack Propagation and Crack Arrest in Arrest in A DCB Test Specimen, Crack Arrest Methodology and Applications. ASTM Spec. Tech. Publ., 711, 1980, G.T. Hahn and M.F. Kanninen, eds., pp. 5-23.
- Kobayashi T., & Dally J.W. Relation Between Crack Velocity and the Stress Intensity Factor in Birefringent Polymers, Fast Fracture and Crack Arrest. ASTM Spec. Tech. Publ., 627, 1977, G.T. Hahn and M.F. Kanninen, eds., pp. 257-273.
- Kalthoff J., Beinert J., Winkler S., Klemm W. Experimental Analysis of Dynamic Effects in Different Crack Arrest Specimen, Crack Arrest Methodology and Applications. ASTM Spec. Tech. Publ., 711, 1980, G. T. Hahn and M. F. Kanninen, eds., pp. 109-127.
- 5) Crosley P.B., Fourney W.L., Hahn G.T., Hoagland R.G., Irwin G.R., Ripling E.J. Final Report on Cooperative Test Program in Crack Arrest Toughness Measurements. In: NUREG. CR-3261. University of Maryland, College Park, MD, April 1983.
- 6) Barker D.B., Chona R., Founey W. L., Irwin G.R. A Report on the Round Robin Program Conducted to Evaluate the Proposed ASTM Test Method for Determining the Crack Arrest Fracture Toughness, KIa of Ferritic Materials, NUREG/CR-4996 (ORNL/Sub/79-7778/4), University of Maryland, College Park, MD, January 1988.
- Rosenfield A. R. Validation of Compact-Specimen Crack-Arrest Data, Journal of Engineering Materials Technology, Vol 106, 1984, pp. 207-208.
- Kanninen M.F., & Popelar C.H. Advanced Fracture Mechanics. Oxford University Press, NY, 1985.
- 9) Cheverton R. D., Ball D. G., Bolt S. E., Iskander S. K., Nanstad R. K. Pressure Vessel Fracture Studies Pertaining to the PWR Thermal Shock Issue: Experiments TSE-5, TSE-5A, and TSE-6, NUREG/CR-4249(ORNL-6163), Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, June 1985.
- 10) Rolland L. Surface Embrittlement of Polymers, Ph.D. Dissertation, Illinois Institute of Technology, Chicago, 1983.
- Kobayashi A.S., & Mall S. Rapid Crack Propagation and Arrest in Polymers. Polym. Eng. Sci. 1979, 19 (2) pp. 131-135.
- 12) Kanazawa T., Machida S., Teramoto T. Preliminary Approaches to Experimental and Numerical Study on Fast Crack Propagation and Crack Arrest, Fast Fracture and Crack Arrest-. ASTM Spec. Tech. Publ. 1977, 627, 1977, G.T. Hahn and M.F. Kanninen, eds., pp. 39-58.
- ASTM E 1221-96 (reapproved 2002), Standard Test Method for Determining Plane-Strain Crack Arrest Toughness, KIa, of Ferritic Steels.
- 14) Broutman L. J., & Choi S-W. Surface Embrittlement of Polyethylene Pipe Grade Resins, Annual Report. Gas Research Institute, GRI-83/0070, 1984.

- 15) Underwood J.H., Burch I.A., Ritter J.C. Crack Arrest and Static Fracture Toughness Test of a Ship Plate Steel. In: Rapid Load Fracture Testing, ASTM STP 1130, Chona R., & Corwin W.R. eds., 1992, pp. 147-160.
- 16) Crosley P. B., & Ripling E. J. Development of a Standard Test for Measuring K_{Ia} with a Modified Compact Specimen, NUREG/CR2294 (ORNL/Sub81/7755/1), Materials Research Laboratory, Glenwood, IL, August 1981.
- Rosenfield A.R., Mineer P.N., Marschall C.W., Markworth A.J. Recent Advances in CrackArrest Technology, Fracture Mechanics: Fifteenth Symposium. ASTM Spec. Tech. Publ. 833, 1984, Sandford R.J. ed., pp. 149-164.
- 18) ISO 13586, Plastics Determination of fracture toughness (G_{IC} and K_{IC}) Linear elastic fracture mechanics (LEFM) approach.