

裂纹技术的基本原理与应用研究进展

赵邦戟 魏庆同* 郎福元 黄建龙

(甘肃工业大学裂纹技术研究所)

提要 本文介绍裂纹技术的基本原理及其应用。裂纹技术通过使裂纹沿给定路线扩展去达到切割材料的目的,它由魏庆同和郎福元在文[2]中首次提出。本文还概要讨论了裂纹技术中四个典型的力学问题,特别是断裂力学的逆问题。笔者希望这篇文章能够引起国内外学者对裂纹技术及其问题的关注。

关键词 裂纹技术; 断裂设计原理; 应力断料方法; 理想应力场; 工程理想应力场; 敏感应力场和敏感环境; 断裂力学逆问题

1. 裂纹技术简介

半个世纪来,裂纹的有害作用使许多工程构件突然断裂,导致大桥断坍,船舶沉没,高压容器爆炸等等恶性事故。“莫名其妙”的裂纹一旦失稳,便以与声速同量级的速度扩展,从而造成可怕的灾难。

为了弄清工程材料在远低于计算强度的低应力下发生脆性断裂的原因,各国学者应用弹性理论研究裂纹,探讨如何控制和防止结构的断裂破坏,于是出现了旨在确保构件“安全设计”的断裂力学,并成为现代力学的一个活跃领域。

“害”与“利”在一定条件下是可以转化的,能够防止裂纹之害,也应能够利用裂纹之利。既然裂纹的存在可导致断裂在很低的名义应力下“意外”地发生,我们能否因势利导,利用裂纹来切断材料呢?我们知道,采用切削一类的办法来切断材料不但效率低,而且切削区内的金属要经历严重的塑性变形,从而消耗大量的能量。若能利用裂纹的脆性扩展来断料,不正好充分发挥了其高速度,低能耗的特点了吗?

自1978年开始,我们利用裂纹扩展进行了大量的断料试验,证实了利用预制裂纹和敏感的应力状态,可以实现高效低能耗的规则断裂,我们把这种新的断料工艺定名为“应力断料”^[5-8]。1982年,研制成功国内外第一台全自动应力断料机的科研样机。应力断料已初步应用于生产实践,效果良好。

大量的理论和实验研究表明:在适宜的预加载荷方式造成的敏感应力状态下,利用人为

* 在甘肃省科学技术协会工作,甘肃工业大学兼职教授,甘肃工业大学裂纹技术研究所兼职所长。

切口的应力集中效应或缺口效应，可以通过裂纹的扩展实现固体材料连续界面快速和规则的分离。也就是说，同“安全设计”相反，我们的研究方向是故意制造裂纹，故意使裂纹扩展，努力把裂纹的破坏作用转化为形成新表面的积极作用，使可怕的低应力脆断在机械加工中获得应用。这项研究工作已经展示了一个可以预见其未来的广阔的技术领域，我们定名为“裂纹技术”^[1,2,4,10-14]。

事实上，裂纹技术的实践历史源远流长，它至少可追溯到与火的发明同期的远古时代^[3]。从利用尖劈刃形实现的“譬如破竹，数节之后，皆迎刃而解”的快速楔裂到传统冶金业的“标火法”，从日常生活中扯布时在布上剪一口子然后双手把布撕开到裁玻璃时的划一印一掰，这些都是裂纹技术实践的典型例证^[4]。在现代工业生产中，这种实践也不少见。比如，机械加工中的冷折法和苏联四项专利¹⁾给出的切料方法，岩石开采中的预裂爆破法，石油开采业中的压裂技术等等，限于篇幅这里不再涉及。应该说明的是这些实践都没有把裂纹技术做为是一门系统的科学和一个完整的高新技术领域，没有上升到应用的理论高度。

裂纹技术的研究包括三大部分：其一是断裂设计原理，其二是应力断裂方法，其三是裂纹技术装备。下面我们主要介绍裂纹技术的理论基础，特别是它的几个典型力学问题及其研究进展，最后介绍在机械加工中的应用结果。

2. 裂纹技术的理论基础^[1,2,13,14]

裂纹技术以认识裂纹的规律，驾驭裂纹去实现固体连续界面的分离为己任。它研究和认识的对象就是裂纹。因此目前所有关于裂纹的研究成果，特别是断裂力学和断裂物理的研究成果，自然都为裂纹技术的诞生提供了基础条件，成为裂纹技术基本原理的重要组成部分。

不言而喻，裂纹技术充分受惠于断裂力学，充分受惠于现代裂纹理论。然而裂纹技术的诞生要求裂纹理论要有一个新的延伸和发展。具体讲，裂纹技术要人为快速地在欲断件上制造一条裂纹；要使这条裂纹迅速通过亚临界扩展区；要使失稳后的裂纹按预定方向规则扩展；要使所有的断裂都在不发生宏观塑性变形，不改变材料的金相组织和机械性能的前提下，以低应力脆断的形式进行。也就是要使一个缓变过程变为一个突变过程；一个失控过程变成一个有控过程；一个自然过程变为一个人工过程。这一系列新冒出来的问题，势必引导裂纹理论进入新的研究领域，势必丰富、发展裂纹理论。

事实上，从防止裂纹之害到利用裂纹之利，这个从事物的一个方面到另一个方面的转变，本身就蕴藏着要求开展另一并行逻辑分支研究的信息，本身就在概念上获得了突破。我们建议把裂纹理论沿着裂纹技术实践方向上所出现的新的分支称为“断裂设计原理”。它与现有裂纹理论一起构成完整的裂纹理论天地。

理想应力场和工程理想应力场，是断裂设计原理中两个重要的概念。

理想应力场的定义是：设有一应力场，其应力张量为 T ，场域为 Ω ，若它在满足

$$W = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \text{tr}\{K[T]T\} dV = 2A\gamma \quad (1)$$

的条件下使材料沿预定面规则分离，则该应力场称为理想应力场。式(1)中 K 为弹性张量， A 为欲断面面积， γ 为欲断材料的表面能。

1) 专利号为703256, 774830, 774831, 795762.

工程理想应力场的定义为：设有一应力场，其应力张量为 \mathbf{T} ，场域为 Ω ，若它在满足

$$W = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \text{tr}\{\mathbf{K}[\mathbf{T}]\mathbf{T}\} dV = A\gamma' \quad (2)$$

的条件下使材料沿预定面规则分离，则该应力场称为工程理想应力场。式(2)中 γ' 为 Irwin-Orowan 表面能。

工程理想应力场与理想应力场的差别在于式(2)中的表面能 γ' 更接近于工程实践，它可以反映局部微观塑性变形所消耗的能量。

断裂设计原理的主要内容包括以下五个方面。

①材料的可断性与材料分类。这部分内容主要涉及材料的可断性指标和材料的分类方法，主要研究各类不同材料对裂纹的响应特性。

②人为裂纹理论。它从理论上回答人为裂纹的可行性，研究各种可能的制造人为裂纹的方法和人为裂纹的参数选择。

③敏感应力场设计理论。敏感应力场是指在特定条件下最为趋近理想应力场或工程理想应力场的应力场。它的设计理论研究各种可能趋近于理想应力场或工程理想应力场的加载途径。人们熟知的应力应变速率效应，疲劳效应都是它的研究内容之一。

④敏感环境设计理论。敏感环境是指在特定条件下为最大限度地趋近于理想应力场或工程理想应力场而必需的环境，包括环境温度和介质等。对于给定的材料，人们对其脆性的认识处在一个半明半暗的灰色状态。所谓半明是指由材料本身所决定的脆性特征是已定的，一般不可再改变，这种特征常用相对脆性来描述，比如在常温常压大气介质下我们知道铁比铝脆。所谓半暗是指由范围广泛的温度和介质等环境因素共同决定的给定材料的脆性特征是未定的，留有进一步选择，明确的余地。敏感环境设计就是针对具体材料寻找使该材料获得最大脆性的最佳环境条件。

⑤有控规则断裂理论。它主要研究裂纹扩展方向的控制问题，特别是失稳后裂纹扩展方向的控制问题。它是确保规则断裂的理论基础。

可以看出，断裂设计原理是一门涉及多门学科的边缘学科。它的研究始终围绕着一个目的：针对特定条件，在最大限度地趋近于理想应力场或工程理想应力场的状态下，使裂纹快速扩展以实现固体连续界面的分离。

3. 断裂设计中几个典型的力学问题及其研究进展

3.1 V型切口作为人为裂纹的可行性与切口设计问题^[2,13-16] V型切口由于其在工程实践中简便易行，一开始就在裂纹技术中得以应用。从理论和实验的角度研究V型切口的尖端应力场和位移场，探讨V型切口作为人为裂纹的可行性，考查V型切口的几何参数对其功能的影响，自然是裂纹技术的一个重要问题。

尖锐V型切口尖端附近应力场和位移场的广义幂级数解为^[15]

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} = & \sum_{n=1}^{\infty} s_n r^{s_n-1} \{ a s_n [[-(s_n+1)A_n+2] \cos(s_n-1)\theta \\ & - (s_n-1) \cos(s_n-3)\theta] + b s_n [[2-B_n(1+s_n)] \sin(s_n-1)\theta \\ & - (s_n-1) \cos(s_n-3)\theta] \} \end{aligned}$$

$$\sigma_{yy} = \sum_{n=1}^{\infty} s_n r^{s_n-1} \{ a_{s_n} [[2 + (s_n + 1) A_n] \cos(s_n - 1)\theta + (s_n - 1) \cdot \cos(s_n - 3)\theta] + b_{s_n} [[2 + (1 + s_n) B_n] \sin(s_n - 1)\theta - (s_n - 1) \sin(s_n - 3)\theta] \} \quad (3)$$

$$\sigma_{xy} = \sum_{n=1}^{\infty} s_n r^{s_n-1} \{ a_{s_n} [A_n(1 + s_n) \sin(s_n - 1)\theta + (s_n - 1) \sin(s_n - 3)\theta] + b_{s_n} [-B_n(1 + s_n) \cos(s_n - 1)\theta - (s_n - 1) \cos(s_n - 3)\theta] \}$$

$$u_x = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{r^{s_n}}{2G} \{ [a_{s_n} [[k - A_n(1 + s_n)] \cos s_n \theta - s_n \cos(s_n - 2)\theta] + b_{s_n} [[k - B_n(1 + s_n)] \sin s_n \theta - s_n \sin(s_n - 2)\theta] \}$$

$$u_y = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{r^{s_n}}{2G} \{ a_{s_n} [[k + A_n(1 + s_n)] \sin s_n \theta + s_n \sin(s_n - 2)\theta] + b_{s_n} [[-k - B_n(1 + s_n)] \cos s_n \theta - s_n \cos(s_n - 2)\theta] \}$$

其中 $s_1 < s_2 < \dots < s_n < \dots$ 是切口角为 α 的V型切口的非负特征根。 A_n, B_n 分别为

$$A_n = -\frac{\cos \frac{s_n - 1}{2} \alpha}{\cos \frac{s_n + 1}{2} \alpha}, \quad B_n = -\frac{s_n - 1}{s_n + 1} \frac{\cos \frac{s_n - 1}{2} \alpha}{\cos \frac{s_n + 1}{2} \alpha}, \quad \left(\cos \frac{s_n + 1}{2} \alpha \neq 0 \right) \quad (4)$$

$$A_n = -\frac{(s_n - 1) \sin \frac{s_n - 1}{2} \alpha}{(s_n + 1) \sin \frac{s_n + 1}{2} \alpha}, \quad B_n = -\frac{\sin \frac{s_n - 1}{2} \alpha}{\sin \frac{s_n + 1}{2} \alpha}, \quad \left(\sin \frac{s_n + 1}{2} \alpha \neq 0 \right)$$

从应力奇异性和应力场强两个角度考查解 (3), 可以得出当切口张角不大于 90° 时, 用尖锐V型切口作为人造裂纹是完全可行的。

尖锐V型切口采用机械加工的办法几乎是无法实现的, 因此需进一步研究切口尖端圆弧半径 r_s 的影响。文 [2, 14, 16] 相继从不同的角度用不同的方法做了这方面的工作, 共同的结论是: 切口尖端圆弧半径在一定范围内 (常指切口尖端圆弧半径与切口深相差一个数量级以上) 不会明显影响用V型切口作为人为裂纹的可行性。这一方面是因为尖端圆弧半径相对于深度来说数值较小, 另一方面是因为无论切口尖端最初怎么尖锐, 受载后都会产生钝化, 这个钝化缓解了尖锐V型切口和小圆角过渡V型切口的差别。

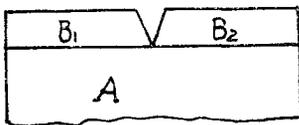


图1 无切口人为裂纹

得的人为裂纹从理论上讲可作到完全尖锐,

除了V型切口, 还可有多种形式的人为裂纹。

图1是无切口人为裂纹, 它的特点是不直接在欲断材料A上预制人为裂纹, 而是在预定部位上用机械的、化学的等等方法固联另外两块材料 B_1, B_2 , 从而在 B_1, B_2 的交界面上形成一人为裂纹。用这类方法制

3.2 断裂力学的一个逆问题^[14] 从断裂设计中可以抽象出一个带有普遍性的问题:

给定一个几何形状和材质已定的物体 Ω (图 2), 并在该物体的给定位置预制一个长为 a 的裂纹. 问: 怎样加载可在此物体的裂纹尖端附近获得最大的应力场强 K ?

这个问题从一个侧面体现了断裂设计的特点, 它可以看成是断裂力学的一个逆问题.

目前我们借助断裂力学中的权函数 $M(x, a)$ 通过下式把这个问题转化为一个求极值问题即优化问题:

$$K = \int_0^a \sigma_y^0 M(x, a) dx \quad (4)$$

只要知道对应问题的权函数, 总可设法借助各种数学方法准确或近似求出 K 取最大值时所对应的 σ_y^0 , 从而使问题获解.

单边裂纹无限长板条 (图 3) 是我们曾做过的算例之一. 已知此时

$$M(x, a) = \frac{3.52(1-t_1)}{(1-t_2)^{\frac{3}{2}}} - \frac{4.35 - 5.23t_1}{\sqrt{1-t_2}} + \left[\frac{1.30 - 0.30t_1^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{1-t_1^2}} + 0.83 - 1.76t_1 \right] \cdot [1 - (1-t_1)t_2], \quad \left(t_1 = \frac{x}{a}, t_2 = \frac{a}{b} \right) \quad (5)$$

三种典型情况下的 σ_y^0 如图 4 所示. 对应的 $K_{I \max}$ 如表 1 所示. 表中同时给出

$\sigma_{y \text{ av}}^0 = \frac{1}{c} \int_0^c \sigma_y^0 dx$ 所对应的 $K_{I \text{ av}}$ 值及 $K_{I \max}$ 相对于 $K_{I \text{ av}}$ 的增大率. 从表中可看出最大增大率为 55.5%.

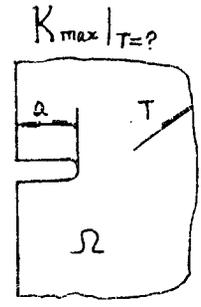


图 2 逆问题模型

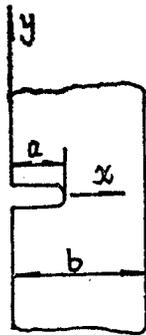


图 3 无限长板条

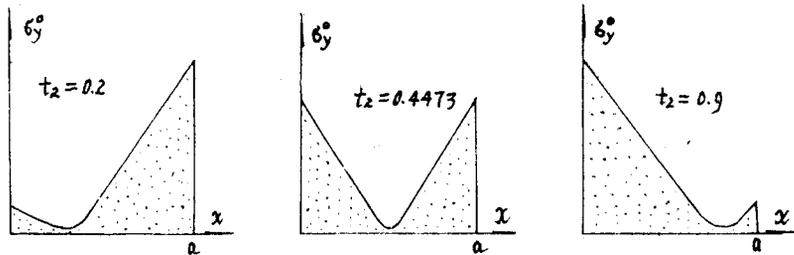


图 4 三种典型的 σ_y^0

表 1 $K_{I \max}$ 与 $K_{I \text{ av}}$

t_2	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a}} K_{I \text{ av}}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a}} K_{I \max}$	增大率
0.2000	2.3800	2.9280	43.7%
0.4473	3.2450	3.7928	15.1%
0.9000	51.2329	79.6440	55.5%

一般说来,有限物体的权函数 $M(x, a)$ 的解析解是不易求得的。没有 $M(x, a)$, 上述解法将无法进行, 为此必须寻求获得 $M(x, a)$ 的其他可能方法。文 [17] 作了这方面的工作, 其主要思想是, 虽然有限物体 $M(x, a)$ 的解析解不易求得, 但它在一种或数种载荷下的 K 值却可通过边界配值, 边界积分, 有限元等方法获得。在物理意义的先验指导下, 可从一个或数个这样的离散结果出发, 通过逆解在数学上不适宜的 Volterra 第一类积分方程求得近似的权函数。式 (6) 是本文采用的权函数的先验结构。

$$M(x, a) = \frac{4}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{2a-x}{2a\sqrt{a-x}} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left[a + \left(n - \frac{5}{2} \right) x \right] \left[\frac{(a-x)^{n-(5,2)} T_n}{a^{n-1}} \right] \right\} \quad (6)$$

实践表明用这种方法求解权函数简便易行, 结果也可靠。

3.3 规则断裂问题^[2,13,14,18] 裂纹的扩展方向, 特别是失稳后裂纹的扩展方向, 是一个国内外目前尚未完全解决的问题。

我们主要做了两个方面的工作。对于危害最大, 功利也最大的 I 型裂纹, 主要研究了其沿原平面扩展的稳定性, 找到了这个稳定性的描述量——特征距离 r_0 。

I 型边缘裂纹的扩展方向 θ_0 是下式中 θ 的根,

$$\sum_{j=1}^{\infty} \theta F(c_j, r, \theta) = 0 \quad (7)$$

由此可知沿 $\theta = 0^\circ$ 扩展, 即沿原裂纹平面扩展, 总是 I 型裂纹的可能扩展方向之一, 沿此方向扩展的稳定性描述量——特征距离 r_0 , 是下列方程 r 的最小正实根:

$$\sum_{j=1}^{\infty} F(c_j, r, \theta = 0^\circ) = 0 \quad (8)$$

关于失稳后裂纹的走向, 一开始我们就意识到从纯解析解的角度有所突破是困难的。因此在注意解析解进展的同时, 我们主要把精力集中在国内外有关的实验结果和我们自己的实验上, 力图从实验中概括出规律性的东西。

在大量实验和多年应力断裂实践的基础上, 我们提出了规则断裂定律: 当欲断面上各点的初始应力状态全为拉应力 (包括零应力) 时, 裂纹沿该面规则扩展。

确保规则断裂是裂纹技术的第一要求, 在这方面工作的进展将对裂纹技术的发展起重大推动作用。

3.4 临界预加载荷力计算^[8,14,19-22] 任意跨高比为 m 的对称三点弯曲带 V 型切口梁的无量纲应力强度因子 F_m^v 可由带同样 V 型切口梁纯弯曲的 F_{pb}^v 和 $m=4$ 的三点对称 F_4^v 求得:

$$F_m^v \left(\frac{a}{W} \right) = \frac{4}{m} F_4^v \left(\frac{a}{W} \right) + \frac{m-4}{m} F_{pb}^v \left(\frac{a}{W} \right) \quad (9)$$

由于任意切口张角梁的 $F_{pb}^v \left(\frac{a}{W} \right)$ 和 $F_4^v \left(\frac{a}{W} \right)$ 是已知的, 经由式 (9) 可求得任意跨距,

任意张角梁对称三点弯曲时的 F_m^v 值。

对于一般的 V 型切口问题, 其应力强度因子 K_I^v 可由下式计算:

$$K_I^v = \sqrt{2\pi} k_1 a_1^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

其中

$k_1 = s_1(1 + s_1)(1 + A_1)$, $a_{s_1}^c$ 为对应情况下直线裂纹的应力强度因子。

式(10)在直线裂纹的应力强度因子与V型切口的应力强度因子间架起了桥梁。

4. 裂纹技术在机械加工中的具体应用及结果

机械加工中的头道工序一般是下料工序,特别是棒料的下料。下料就是从母材上截下满足一定规格要求的材料。下料的重要标志是要产生新的表面。

目前常见的下料方法有带锯、圆盘锯等的锯断,车刀、铣刀等的切断,剪床等的剪断。锯断、切断除效率低外,还有工件材料和刀具材料损耗。剪断效率高,无工件材料损耗,但断面常呈马蹄形,所需功率也大,有些材料还不适宜剪切下料。从理想应力场或工程理想应力场的角度看,这些方法能耗均偏大。

由于下料的重要标志是有新表面产生,而低应力脆性断裂有可能在趋近于材料表面能的低能耗水平下产生新的表面,因此把裂纹技术应用于下料是很适宜的。

1978年4月,在我校金切实验室成功地进行了有控制的断裂试验以后,经过几年的探索表明,把裂纹技术应用于机械加工中的下料工序是完全可行的。我们称之为“应力下料”。

应力下料的关键在于设计适宜的预加载荷方式和切口方式。我们已经确定了六个系列的预加载荷方式和多种切口方式,可以解决所有常见的金属材料及部分非金属材料的下料问题。这些方式都可使材料在不产生宏观塑性变形的前提下以低应力脆断的形式沿预断面规则分离。前面提到的四项苏联专利,实际上是一种方法的四种不同实现形式。这种方法类似于我们所说的YD-I0系列预荷方式中的一种方法,即YD-I预加载荷方法。

图5—8是应力断料的几个典型断口,其中图5和图6给出的材料GH132,以及1Cr18Ni9Ti,都是难加工材料,通常很难切削或剪切。图9是典型的断口金相照片,说明断裂以解理脆性断裂的形式进行。

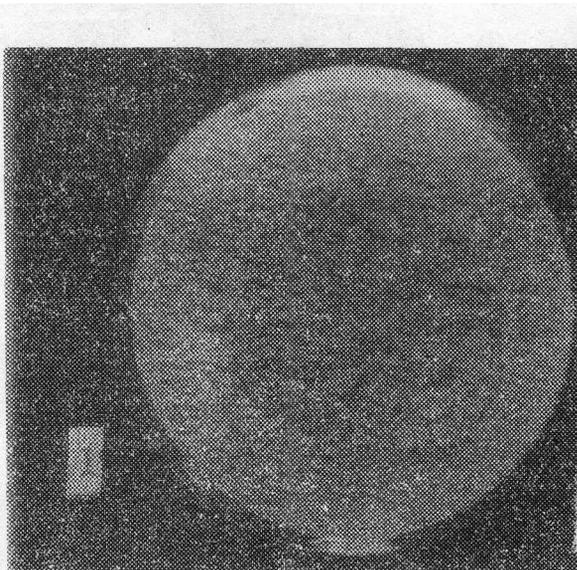


图5 GH132高温合金断口

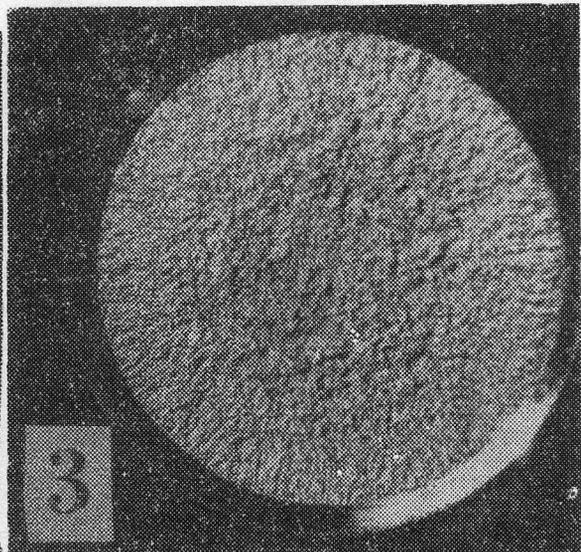


图6 1Cr18Ni9Ti不锈钢断口

在实验研究的基础上，我们于1982年研制成功国内外第一台YD-I型液压全自动应力断

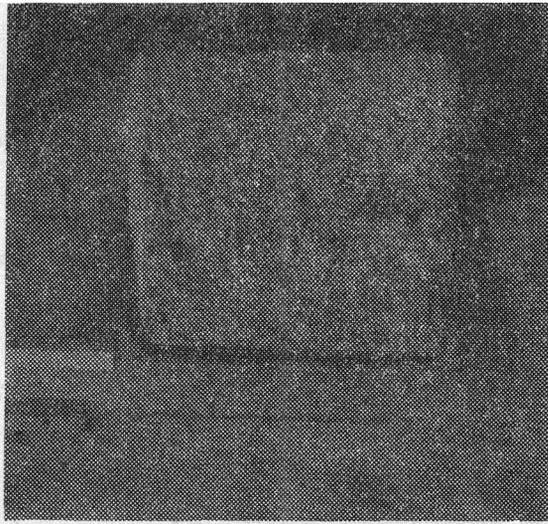


图7 90×90mm 高碳方钢断口

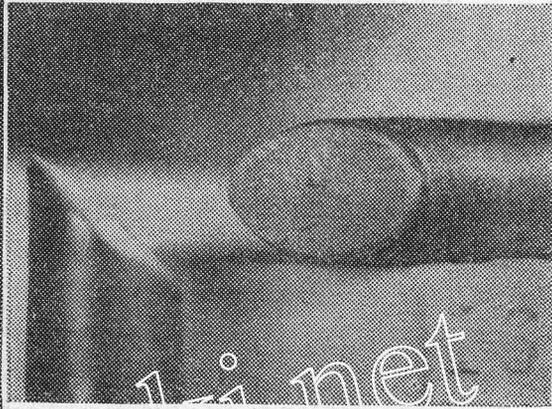


图8 不同裂纹走向断口

料机，其改进型YD-IA也已由天水轴承仪器厂试制成功（图10），目前正在进一步改进和完善以经受工业考验。

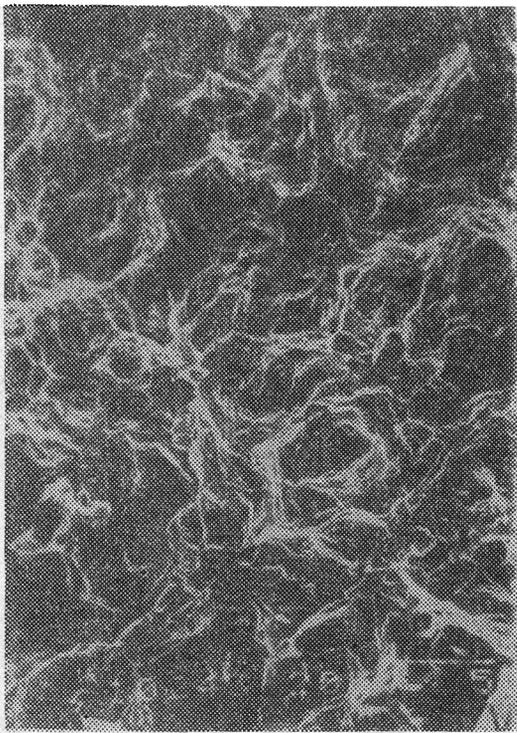


图9 断口扫描电镜照片

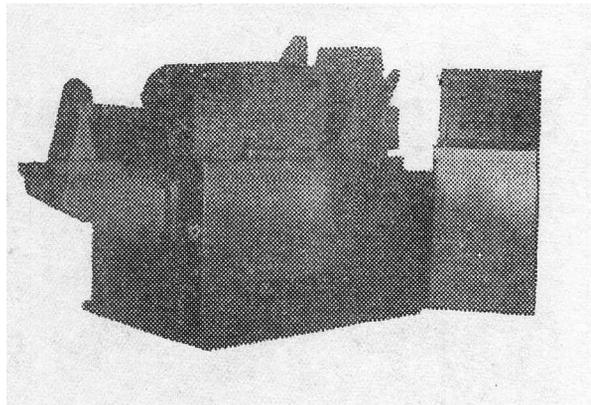


图10 YD-IA型全自动应力断料机

YD-II型和YD-IV型应力断料机也已有另外两个厂家试制生产。它们将满足轴承行业和工具行业的大批量下料要求，具有较好的技术经济指标。

已经进行的大量工作结果表明, 应力断料具有下列优点:

①高效。由于裂纹失稳扩展速率相当于声速, 断裂过程都将在刹那间完成, 实用的断料机动时间为 3—6 秒;

②节能。金属材料的塑性应变能变化要比表面能变化大 3—6 个数量级, 而应力断料有可能在尽量趋于表面能的低能耗下形成新表面, 故同车削切断相比, 能量消耗约为 1:5—50;

③节约原材料和工具消耗。这是因为没有切口损耗和切口刀具负荷很小, 耐用度很高的缘故;

④越是难切削加工的材料越容易脆断。例如, 断高速钢料的功耗是 45 号钢的 1/17;

⑤断口规则平整, 不改变材料的金相组织, 满足下料质量要求。

5. 结论与展望

诞生于我国的裂纹技术, 是在大量的事实基础上概括而成, 它迈出了把从古至今, 各行各业有关化裂纹之害为利的实践经验上升到应用的理论高度的第一步, 它以材料科学, 强度科学, 固体力学等学科为依托, 有着广阔的发展前景。

断裂设计原理以裂纹技术提出的新问题为自己的研究对象, 即充分受惠于断裂力学和断裂物理等相关学科, 又有自己的特色, 并对其相关学科的发展起促进作用。

裂纹技术目前只具备了初步的雏形和框架, 尚有大量工作等待人们去完成。我们希望这篇简单的介绍, 能把我们自己一些粗浅的认识奉献给大家, 引起国内外相关学科, 特别是力学界学者的关注, 以期共同研究, 发展和逐步完善这门新技术。

自裂纹技术诞生以来, 得到许多院校、科研机构学者和工厂工程技术人员的热心扶持和帮助。钱学森教授、钱伟长教授也先后予以肯定并提出殷切期望。对此我们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 魏庆同. 从断裂力学的反思到裂纹技术的崛起 (中国科学技术协会第三届二次全委会大会宣读论文). 《科学发展若干问题探讨》. 学术期刊出版社 (1987)
- 2 魏庆同, 郎福元. 机械加工中的断裂设计概论. 甘肃工业大学学报, 1 (1982)
- 3 魏庆同, 华觉明, 郎福元. “刃”的发现和原始裂纹观念的形成. 第一届全国古代技术史年会宣读论文 (1983); 甘肃工业大学学报, 1 (1983)
- 4 华觉明, 魏庆同, 郎福元. 关于裂纹技术的思维历史. 第一届全国古代技术史年会宣读论文 (1983); 甘肃工业大学学报, 1 (1983)
- 5 魏庆同, 郎福元, 董庆珍, 黄建龙. 应力断料试验研究与应力断料机 (具) 的研制. 甘肃工业大学学报, 1 (1982)
- 6 魏庆同, 郎福元, 董庆珍, 黄建龙. 应力断料原理及其应用研究. 北京机械, 4 (1982)
- 7 魏庆同, 郎福元, 董庆珍, 黄建龙. 一种新型断料工艺——应力断料的研究. 机械制造, 9 (1982)
- 8 郎福元, 魏庆同, 黄建龙. 应力断料中预荷力 P_y 的计算表达式. 甘肃工业大学裂纹技术研究所研究报告 (1982)
- 9 黄建龙. 应力断料经济效益分析. 甘肃工大裂纹所研究报告 (1982)
- 10 魏庆同, 郎福元, 董庆珍, 黄建龙. 机械加工中的断裂设计与应力断料方法研究报告和论文提要. 中国机械工程学会三十周年年会交流论文 (1981)
- 11 魏庆同, 郎福元, 董庆珍, 黄建龙. 裂纹技术与应力断料机简介. 甘肃机械, 1 (1983)
- 12 新的裂纹理论和裂纹技术. 自然杂志, 7 (1982)
- 13 魏庆同, 郎福元, 黄建龙, 赵邦戟. 裂纹技术的基本理论. 甘肃工业大学裂纹所科研资料 (1987): 1—224
- 14 赵邦戟. 裂纹技术的有关理论及应用研究. 甘肃工业大学硕士毕业论文 (1985)
- 15 魏庆同, 郎福元, 赵邦戟. V 型切口尖端应力场和位移场的幂级数解. 第五届全国断裂力学大会宣读论文, 第五届全国断裂力学大会论文集 (1988)
- 16 Lang Fu-yuan, Chen Xiao-lin, Zhao Bang-ji. Determining the stress field at the tip of a V-notch with various notch angles and notch depths by photoelastic method, accepted by the Int. Conf.

- on Adv. Exper. Mech., Tianjin, China (1988)
- 17 赵邦戟. 断裂力学中权函数的一种近似解法. 中华青年力学协会第一届年会宣读论文, 兰州 (1987年7月).
 - 18 魏庆同, 郎福元, 赵邦戟. I型裂纹的扩展方向及其稳定性研究. 甘肃工业大学学报, 3 (1986)
 - 19 魏庆同, 郎福元, 赵邦戟. 三点弯曲梁的应力强度因子 K_I . 甘肃工业大学学报, 4 (1985)
 - 20 魏庆同, 郎福元, 赵邦戟. 一种求解V型切口尖端应力强度因子的新方法. 第五届全国断裂力学会议交流论文 (1988)
 - 21 魏庆同, 郎福元, 赵邦戟. 带V型切口梁任意跨距三点弯曲下的 K_I . 甘肃机械, 2 (1987)
 - 22 Zhao Bang-ji, Lang Fu-yuan, Wei Qing-tong. Determining K_I of a V-notch from the existing results of a linear crack. *Eng. Frac. Mech.* (to be published)
 - 23 魏庆同, 郎福元, 黄建龙, 赵邦戟. 裂纹技术与现代化. 现代化, 7 (1987)

THE PRINCIPLE OF CRACK TECHNIQUE AND ITS APPLICATION

Zhao Bang-ji Wei Qing-tong Lang Fu-yuan Huang Jian-long
(Gansu University of Technology)

Abstract The principle of crack technique and its application, which makes the crack develop along a given path to "cut" solid material and was first put forward by Wei Qing-tong and Lang Fu-yuan in [2], are introduced in this paper. Four typical mechanics problems, especially the inverse problem of fracture mechanics, are discussed in detail. The authors hope that this paper may call the attention of the scholars all over the world to the technique and the problems.

Keywords *crack technique, fracture design, stress bar severing, ideal stress field, engineering ideal stress field, sensitive stress field and environment, inverse problem of fracture mechanics*

第3届材料本构关系学术讨论会

(1988年3月6—14日, 重庆)

会议由重庆大学力学研究所主办, 来自全国近百人参加了会议. 会议以材料本构关系理论及应用为中心议题, 兼及损伤力学、现代材料力学、复合材料力学及材料行为的细观机制等前沿领域研究. 波兰科学院院士 Jan Rychlewski 教授的“各向异性极限准则的新描述”、中国矿业学院北京研究生部陈至达教授的“大变形本构方程及变形几何理论”、中科院力学所段祝平副研究员的“分布缺陷连续统理论及其在本构方程研究中的应用”等专题特邀报告, 引起了与会者的极大兴趣. 会上报告了重庆大学本构理论研究室10篇关于本构关系的研究工作, 内容涉及大变形、非比例循环加载、率敏感、热处理相变等材料在复杂条件、高温环境下的力学行为. 会议还专门组织了博士论文交流, 活跃了青年力学工作者学术思想, 增强活泼、热烈的学术讨论气氛. 会议出版了约40万字的文集《本构关系理论及应用的新进展》.

重庆大学力学系唐质然供稿