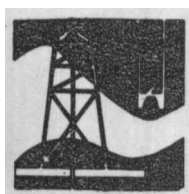


金刚石钻头胎体性能的初步研究

袁公显

(中南矿冶学院)

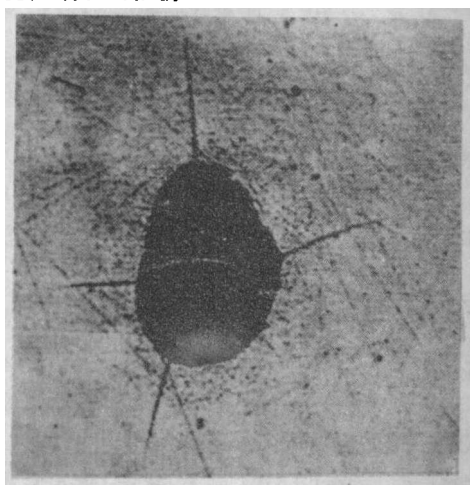


钻探技术

衡量金刚石钻头胎体的性能,目前国内外多用硬度(HRC)的单一指标,满足不了钻头设计、制造和选择的要求。近几年来,国内外对胎体性能的研究进行了不少工作,本文总结了我们对金刚石钻头胎体基本性能的初步研究成果。

胎体的断裂韧性

目前,大多数粉末冶金法加工的金刚石钻头胎体,是由骨架成分、多元合金粘结剂及金刚石组成的复合材料。这种材料内部存在着诸如孔隙、夹杂物、微裂纹等缺陷,通常表现为微裂纹。照片1为烧结后的胎体由于受热应力影响,在金刚石附近产生了微裂纹^[1]。这种微裂纹正是胎体发生脆性断裂的根源。



照片1 金刚石附近的微裂纹(×80)

这种微裂纹的影响,随钻头工作条件而变化。

经在试验台上测定,钻头钻进时,其胎体温度分布将随高度而变化(见图1)。离唇面愈近,温度愈高,在离唇面0.25毫米处,温度可达100~200℃,局部达到300~400℃,而且高温点也在不断变化,使胎体内产生热应力。正是由于这种热应力及工作时所承受的复杂机械力而产生的交变破坏应力的共同作用,使胎体的原始裂纹扩展,最后导致胎体脆性断裂。一般认为,温度的高低对胎体断裂的影响具有两重性,即当温度上升时,胎体的有关粒子运动加剧,有利于微裂纹扩展,使胎体的抗断裂能力下降(WC—钢结硬质合金的这个温度范围不超过200~300℃);但当温度继续上升,则其塑性增大,不利于裂纹的扩展。

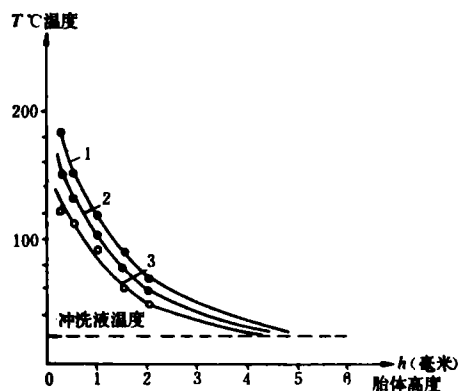


图1 温度沿胎体高度的变化规律

注:试验条件: $n=693$ 转/分; $Q=0.7$ 升/分;

岩石为花岗岩;钻头直径29毫米;

钻压: 1—350公斤, 2—250公斤, 3—150公斤

1. 裂纹尖端的应力强度因子 在断裂力学中,裂纹尖端附近的应力场分为张开型、滑开型、撕开型三种类型,通常称为Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型。

I型是生产实践中最常见的,也是引起脆性破坏最危险的情况,故这里专门讨论I型的变化影响。

I型裂纹属于平面问题,而平面问题又分为两类:一是平面应变状态,即当试件厚度足够大时,在厚度方向的变形受到约束而不发生变化,其裂纹尖端附近的应力场如图2所示。二是平面应力状态,即试件很薄,在厚度方向的应力为零。把胎体试件看作处于平面应变状态,同时由于裂纹尺寸比平面尺寸小得多,因此可将平面看作无限大的平板。设有长度为 $2a$ 的穿透型裂纹,在拉应力 σ 作用下,据线弹性理论得出平面应变条件下裂纹尖端附近任意一点的应力分量的表达式如下^[2]:

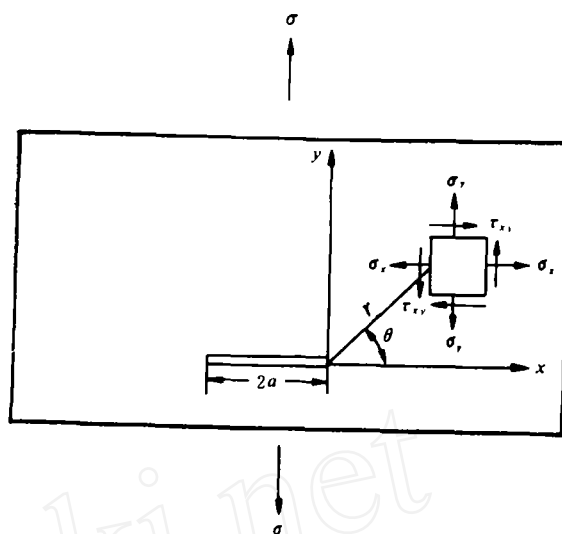


图2 裂纹尖端的应力场

$$\sigma_x = \sigma \left(\frac{\pi a}{2\pi r} \right)^{1/2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_y = \sigma \left(\frac{\pi a}{2\pi r} \right)^{1/2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right) \quad (2)$$

$$\sigma_z = \mu (\sigma_x + \sigma_y) \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \sigma \left(\frac{\pi a}{2\pi r} \right)^{1/2} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} = \frac{K_I}{(2\pi r)^{1/2}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (4)$$

式中:

μ —材料的泊桑比。

从式(1)至(4)看出:应力分量与 K_I 有关,显然, $K_I = \sigma (\pi a)^{1/2}$,在一般情况下 K_I 可用下式表示^[3]: $K_I = \sigma a^{1/2} Y$ 。

其中, Y —裂纹几何因子,是一个无量纲系数。

在断裂力学中, K_I 称为应力强度因子,它表示裂纹尖端附近应力场强弱的因子。

当 σ 与 a 的组合值 K_I 达到某一临界值 K_{Ic} 时,裂纹就会失稳扩展而断裂,此时的应力 σ 称为临界应力,以 σ_c 表示,则 $K_{Ic} = \sigma_c a^{1/2} Y$ 。

K_{Ic} 称为材料的断裂韧性(或称断裂韧度),它表征了材料抵抗裂纹传播的能力。如果 K_{Ic} 值愈大,则裂纹传播所需的 σ_c 值愈大;反之,在给定外加应力 σ 值时,如果 K_{Ic} 值愈大,则裂纹传播时的临界尺寸 a_c 值就愈大。它的量纲是(力) $\times$ (长度) $^{-3/2}$ 。

K_I 与试件厚度的关系见图3^[4]。从图中看出,当试件厚度增加到足够大时, K_I 便达到了

一个稳定的极限值,这个极限值被表示为 K_{Ic} 。不同材料的试件厚度通常由试验确定。

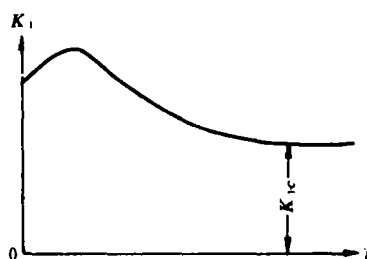


图3 K_I 与试件厚度关系

2. K_{Ic} 的测定与分析 对于金属材料 K_{Ic} 值的测定,当前常用三点弯曲和紧凑拉伸方法。按SATM规定,这两种方法需要较大的尺寸试件;试件还需进行疲劳预裂纹,并测定材料的 $\sigma_{0.2}$ 。这对于钻头胎体材料或其他超硬复合材料来说是有一定困难的,有时甚至不能实现。近几年来,苏联超硬材料研究所,采用小尺寸圆盘式试件测定 K_{Ic} 值。这种方法的特点是,试件尺寸小;易于用粉末冶金法加工所需要的形状和尺寸;易采

用激光或电火花法造成穿透性裂纹，不需要用机械法制造预裂纹；不需要测定 σ_0 。测定的加载系统见图4。可按下式计算 K_{Ic} 值，即

$$K_{Ic} = \frac{P_{kp} (\lambda)^{1/2}}{t (\pi R)^{1/2}} \cdot Y$$

式中： $Y = \frac{1.01227}{(1-\lambda)^{1/2}} (1 - 0.60387\lambda + 1.67239\lambda^2 - 1.16989\lambda^3)$

P_{kp} —断裂载荷； t —试件厚度； R —试件半径。
 $\lambda = l/R, 0.3 < \lambda < 0.6$ [6]， l —裂纹长度的1/2。

按上述方法，对6#及4#胎体的 K_{Ic} 值进行了测定（测定工作由国防科技大学108中心实验室完成），结果见表1。

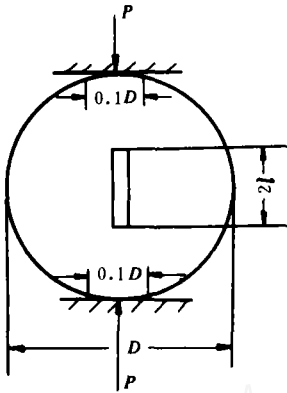


图4 试件加载系统

表 1

试件号	硬度 (HRC)	厚度 t (毫米)	直径 D (毫米)	裂纹长 $2l$ (毫米)	$\lambda = l/R$	Y	P_{kp} (公斤)	K_{Ic} (兆牛/米 ^{3/2})
1—6	45	4.26	20	4.41	0.221	1.073	2050	13.44
2—6	42	4.10	20	4.20	0.210	1.074	1380	12.49
3—6	47	4.45	20	4.45	0.222	1.074	1750	11.01
4—6	49	3.92	20	4.40	0.220	1.072	1520	10.79
1—4	34	3.51	20	4.51	0.226	1.076	1700	13.71
3—4	31	3.46	20	4.50	0.225	1.073	1685	13.77
12—4	25	3.35	20	4.57	0.229	1.078	1760	11.55

- 注：1. 裂纹宽度0.08毫米。
2. 试件均在瑞士 AMSLER 木材万能试验机上试验，其载荷均差约1%；
3. 试验温度 $T = 28^{\circ}\text{C}$ ，湿度80%；
4. 试件尺寸测量精度0.02毫米，裂纹长度测量精度0.01毫米；
5. 试件编号尾数如2—6的6，表示6#配方（其中WC60%，粘结剂40%，其成分为Cu，Ni，Mn等合金），尾数4为4#配方（WC20%，W40%，粘结剂40%）6#及4#配方也分别被称为604（6）和244（4），见表3。

苏联超硬材料研究所采用圆盘试件（ $D = 20$ 毫米，裂纹长5毫米），对BK—6合金及以BK—6为基础的超硬材料进行了测定，其 K_{Ic} 值如表2 [7]。

比较表1和表2可以看出，我们所测 K_{Ic} 与苏联的测 K_{Ic} 值接近，因此，可作为分析问题的依据。

通过上述测定与分析，可以总结出以下几点与 K_{Ic} 有关的认识：

1. 胎体配方成分不同， K_{Ic} 值也不同，如4#配方比6#配方的 K_{Ic} 值高9%。

2. 金刚石品级不同，对胎体的 K_{Ic} 值影响也不同，如表2中含ACC（1）金刚石的 K_{Ic} 值约

表 2

裂纹加工 方 法	合 金 种 类	裂纹宽 (微米)	K_{Ic} 兆牛/米 ^{3/2}
电火花切割	BK—6	45	10.8 ± 0.6
		65	10.4 ± 0.5
		85	11.2 ± 0.7
		200	9.8 ± 0.6
激光穿孔	BK—6	85	9.8 ± 0.6
	BK—6 + ACC（1）	85	8.4 ± 0.8
	BK—6 + ACC（2）	85	4.7 ± 0.8

为含ACC(2)的2倍。

3. K_{1c} 值与胎体硬度(HRC)值之间的关系如图5所示。由图可见当HRC值达到一定量后, K_{1c} 开始下降。

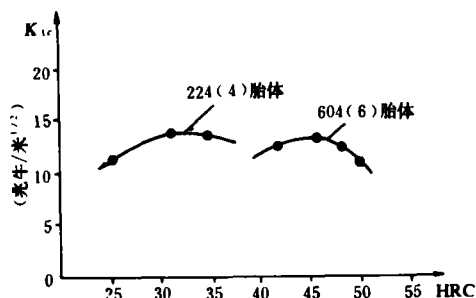


图5 K_{1c} 与胎体硬度的关系

胎体的耐磨性

由于孕镶金刚石钻头的工作特点是“自锐”, 所以, 只有满足下述条件时才能保持正常工作, 即胎体磨损速率等于或稍大于金刚石的磨损速率。其表达式形式如下:

$$\omega_2 > \omega_1 / K$$

式中: ω_2 —胎体磨损速率, 厘米³/分;

ω_1 —金刚石磨损速率, 厘米³/分;

$$K \text{—系数, } K = \frac{\text{金刚石体积}}{\text{胎体体积}} < 1。$$

胎体磨损主要是由于胎体与岩石间经常有更新的岩粉颗粒而产生的滑动摩擦所致^[9]。人们通常称其为磨粒磨损。磨损因素多而常变, 故目前还未建立起反映胎体磨损的数学模式, 只能对磨损进行测定, 以获得相对的耐磨指标。

1. 测定装置及方法 考虑到胎体磨损主要是磨粒磨损这个特点, 本设计参考了苏联乌克兰超硬材料研究所的СИЗ—2型试验机, 设计并加了一台专用测定装置, 使其既能测胎体磨损, 又能测定岩石的研磨性。其工作原理见图6。测试参数 P 为10~100公斤, 转速为700~1000转/分, 试件尺寸为 $\phi 13.5 \times 10$ 毫米, 标准磨盘采用刚玉砂轮或岩心(测岩石研磨性时采用岩心)。

胎体磨损速率 $\omega = W/t_0$, 其中, W 为试件的磨损量(克), 称量精度为0.00001克; t_0 为试验时间(分), 一般取5分钟。胎体耐磨性系数为

$$K = 1/\omega。$$

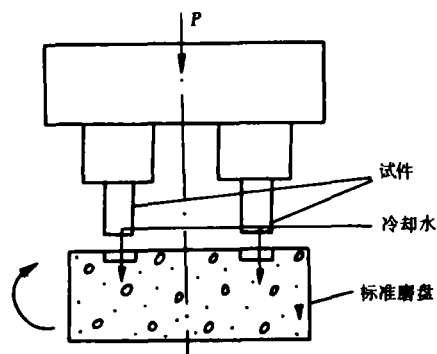


图6 胎体耐磨性测定装置

2. 测定结果与分析 用上述方法对国内常用胎体配方及通用烧结工艺所制胎体进行了测定, 结果列于表3, 其规律示于图7。用同样测试方法, 对活化烧结(包括物理及化学活化)的胎体进行了测定, 结果列于表4。

表3

胎体配方号	硬度(HRC)	平均磨损速率 ω	平均耐磨性系数 K
2 #	50	0.150225	6.65668
49	48	0.210623	4.74782
604(6) 即6 #	46	0.197175	5.071637
63	43	0.249320	4.010910
604(4)	43	0.269300	3.713331
334(6)	40	0.314573	3.178892
6 #	32	0.304525	3.283803
244(4) 即4 #	27	0.551525	1.813145

表4

烧结法		胎体 配方	硬 度 (HRC)	耐磨性 系数K	磨损速度 ω
普通热压法		334 (6)	40	3.17	0.315
活化 烧结 添加 剂	钨型	334 (6)	40	6.25	0.15975
	铜型	334 (6)	36	3.598	0.27787
	锌型	334 (6)	44	3.56	0.2803

从表3、表4及图7中可以看出:

1. 耐磨性随硬度增大呈波浪式增加。

2. 配方不同, 其耐磨性与硬度间的关系有以下几种情况:

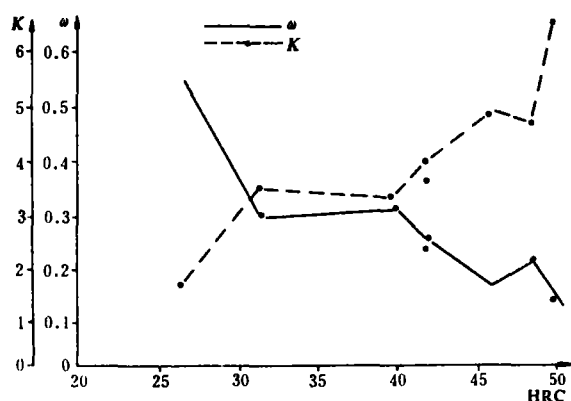


图7 胎体耐磨性与硬度的关系

①硬度相同，配方不同，两者耐磨性不同。如63配方和604(4)配方硬度相同，而后者耐磨性系数高7.4%；

②由于配方不同，硬度小的胎体反而耐磨性系数大。如604(6)和49配方相比，前者硬度比后者低，而耐磨系数却比后者大；

③两者的耐磨性系数几乎相同，但其硬度却相差显著，例如334(6)和6#配方的磨耐性系数均为3.2左右，但硬度(HRC)相差8°。

可见，由于配方及烧结工艺不断发展，仍采用单一的胎体硬度指标，作为选择钻头的依据是不合理的。如国外有的厂家(Diamant Boart, Ack er Drill) [9]已生产出一种硬度值、两种不同耐磨性的钻头。因此，在国内尽快建立统一的测定胎体耐磨性的装置及测定方法，是当前的一项迫切任务。

3. 胎体粘结成分对耐磨性有显著影响。如604(6)配方改为604(4)配方，其骨架成分与含量均未改变，仅由于粘结成分的变化而使其硬度下降6.5%，耐磨性则下降了26%。而改变骨架成分时，对胎体的硬度影响比较显著。如604(4)配方改为244(4)配方时，即在骨架中以40%的W粉取代了40%的WC粉，则使胎体硬度下降了34.8%，耐磨性系数降低了24%。

4. 活化烧结可以改变胎体耐磨性与硬度。

在334(6)配方中添加一定含量的活化剂，胎体的耐磨性均有提高，而胎体硬度有的提高，

有的下降，有的不变，说明活化烧结对胎体性能的影响不可忽视。

通过上述研究情况的介绍看出，钻头胎体的基本性能，除应包括已有的硬度指标外，还应包括断裂韧性、耐磨性，以及包嵌金刚石的能力(本文没专门介绍)等基本性能指标。其中，断裂韧性的研究重点，应是研究符合我国钻头胎体特点的应力强度因子，并进而研究断裂韧性与胎体包嵌金刚石能力、耐磨性及硬度之间的相关性；对于硬度指标今后主要作为检验钻头生产工艺是否稳定的一项参数 [10]。

参加本项研究的人员：还有王开志、何晓军、李家锋、侯平告。

主要参考文献

- [1] Маслов, Б. П. и др.: К оценке прочности композиционных алмазосодержащих материалов, Сверхтвердые материалы, 1982, No. 5, стр. 8
- [2] В. Г. 库德良绍夫等著, 高云震等译:《铝合金断裂韧性》, 北京, 冶金工业出版社, 1980年, 第9~10页
- [3] 山东工学院等:《金属的机械性能》, 北京, 机械工业出版社, 1978, 第131~135页
- [4] 黄培云等:《粉末冶金原理》, 北京, 冶金工业出版社, 1982, 第383页
- [5] Новиков, Н. В. и др.: Метод определения трещиностойкости сверхтвердых материалов, основанный на испытании дисков с трещиной, Сверхтвердые материалы, 1981, No. 4, стр. 12
- [6] Новиков, Н. В. и др.: Методика определения прочности и трещиностойкости поликристаллических сверхтвердых материалов, Сверхтвердые материалы, 1982, No. 2, стр. 35
- [7] Девин, Л. Н. и др.: К определению трещиностойкости композитов на основе твердого сплава, Сверхтвердые материалы, 1980, No. 6, стр. 15~19
- [8] Новиков, Н. В. и др.: Композиционные алмазосодержащие материалы на основе твердого сплава, Сверхтвердые Материалы, 1983, No. 2, стр. 1~5
- [9] Гинзбург, И. М. и др.: Обзор—техника и технология геологоразведочных работ, организация производства, М., ВИЭМС, 1983, стр. 22~23
- [10] Вовчановский, И. Ф.: Породоразрушающий инструмент на основе сплава титана для бурения глубоких скважин, Киев, "Наукова Думка", 1979, стр. 39~41