

第四次全国硬质合金学术会议

论文集

(一)



一九八九年十月 湖南

TG 135-53
D 46

前

言

根据有关学术单位共同协商，一九八九年第四次全国硬质合金学术会议由中国金属学会粉末冶金学会难熔金属及硬质合金学术委员会主办。并有中国有色金属学会粉末冶金及金属陶瓷学术委员会硬质合金专业组中国机械工程学会粉末冶金学会硬质合金专业组、中国有色金属加工工业协会硬质合金分会、中国钨业协会硬质合金分会、中国有色金属工业总公司硬质合金情报网、中国有色金属总公司钨钼冶炼及硬质合金协作组等单位共同举办。为了便于学术交流，现将征集的论文汇编成册。因时间仓促，会议筹各组水平所限，错误难免，请代表批评指正。

本次会议得到济南市冶金科学研究所的大力支持，在此深表谢

意。

第四次全国硬质合金学术会议

筹 各 组

22503

目 录 (一)

组织及性能研究

- 硬质合金柱齿钎头压嵌时齿裂原因探讨.....
.....王九如 卢伟民 裴袭涛
- 硬质合金柱齿钎头断齿原因的分析.....
.....王九如 易凯华
- 热等静压粗颗粒硬质合金的强度解析.....
.....郭裕康 于绍武 鲍志芳 祁瑞贞等
- 硬质合金 K_{IC} 的测试与数据.....
.....段石田 汪德根
- 平面静压下缺口试样的应力分布.....
.....何耀祖 朱其芳
- 表面断裂韧性法评价陶瓷韧性的研究.....
.....朱其芳 何耀祖
- 稀土元素对硬质合金的断裂源缺陷尺寸和本底强度的影响.....
.....梁洁 李规华 严兰英 张鸿绪

稀土硬质合金刀片YT3R切削性能研究.....

.....郝春水 吴凤春

微量稀土添加剂在硬质合金中的行为初探.....

.....汪有明 贺从训 楚建新 文献军 彭刚

WC—Co系硬质合金的组织缺陷对合金冲击性能的影响...

.....任秋凤 靳裕康 林忠杰

硬质合金生产中的点状石墨及微孔隙.....

.....匡达英

钴粉粒度对合金性能的影响.....张鹏

碳化钽及碳化铌对硬质合金晶粒尺寸的影响.....

.....孙丽虹 唐震基

热等静压对粗颗粒WC—9%Co硬质合金WC晶粒度及抗弯强度的

影响.....靳裕康 于绍武 宋振波 刘守忠等

WC—Ni、Co系硬质合金的胶结相晶粒.....

.....刘寿荣 李喜山

电火花线切割加工对YG硬质合金显微组织的影响.....

.....刘寿荣 马梅森 李喜山 宋春生

TiN在Si3N4陶瓷中的作用.....

.....石云华 邓凤翔 汪有明 贺从训

湿磨介质对成型性的影响.....

.....卢伟民 王九如

.....

检测方法的研究

.....

钨、碳化钨等粉末的扫描电镜研究方法.....

.....盛贵仙 王晓华 牛会军

多相 ZrO_2 的晶粒尺寸分布及相定量的联机测定.....

.....陈洪育 高玉琴

关于硬质合金饱和磁化强度 (MS) 的实际应用.....

.....魏维新

用磁性测定硬质合金性能.....

.....彭刚 贺从训 楚建新

硬质合金柱齿钎头压嵌时齿裂原因探讨

中南工业大学粉末冶金厂 王九如 卢伟民 裴袭涛

一. 问题的提出

由于柱齿钎头具有较高的凿岩效率，使得柱齿钎头在我国得到迅速的普及和发展，目前全国约有近二十多个钎头生产厂家在生产这类钎头。由于发展过快，各钎头厂家的生产水平显然是不一样的。在一段时间内，听到一些钎头生产厂家反映，硬质合金柱齿钎头在嵌齿时发现硬质合金柱齿开裂的现象，有的是在冷嵌时发生的，有的在热嵌时也有裂齿现象产生，合金柱齿压嵌时开裂，造成了钎头生产中的最终废品，从而严重影响着钎头厂家的经济效益与社会效益，而且也严重地威胁着企业的信誉和竞争能力。

是什么原因造成合金柱齿的开裂呢？是合金柱齿的质量问题？还是嵌工艺不当的问题？有没有办法减少以至杜绝这种开裂现象的产生呢？这就是本文要探讨的核心内容，希望通过本文的探讨，能对有兴趣的朋友有所帮助。

二. 开裂现象的观察

我们观察了相当数量有开裂现象的钎头样品，发现所有开裂的合金柱齿，无例外地存在下列的一些事实：

1. 几乎所有的合金柱齿顶部都有一个受压的压痕，压痕呈圆形，表面较为光亮，最小的压痕直径只有1.5 mm，最大的约3.5 mm。

2. 并不是所有有压痕的合金柱齿都开裂，但开裂的柱齿顶部一定可以看到压痕的存在。

3. 所有裂纹均从受压痕边缘出发，垂直向下发展，各齿裂纹条数不等，有的一条，有的多达5-8条，从顶部看去成放射状（见图1）从已剖开的钎头来看，齿顶裂纹一般未扩展到合金柱齿的底部，有的扩展到弹、球头边，有的扩展到嵌入的中部，如图2所示。



图1 从柱齿顶部看裂纹的形态



图2 从柱齿的侧面看裂纹的扩展状态

三、柱齿开裂原因的分析与验证

对开裂合金柱所作的物理性能与组织结构分析表明，所有合金性能均属正常合标，从裂纹的产生与扩展走向特征来看不可能是生产工艺因素造成的，例如不可能是成型模具与工艺等因素，因为成型工艺所造成的柱齿缺陷多是压制方向上的分层裂纹或球与柱齿交界处的裂纹（摘帽），而这些裂纹均与上述裂纹走向成垂直状态，因此成型工艺因素可以排除。

由于裂纹均从合金柱齿顶端的受压痕开始并与轴线平行，因此可以判定裂纹的产生是与合金柱齿受压有关的。

我们了解到有的钎头生产厂家是采用10吨或25吨液压机来把合金柱齿嵌入钎头体内，采用的压力多在5吨以上，有的甚至高达10吨的压力。对于受压面积为 $S = 1.77 - 9.6 \text{ mm}^2$ （压痕直径 $d = 1.5 - 3.5 \text{ mm}$ ）来说，合金柱上的单位受压力已大大超过了硬质合金的抗压

强度极限。通常齿岩硬质合金的抗压强度为 $\sigma_1 = 3900 - 4900$ MPa [1]，YJ1，YJ2，K308D 等合金的抗压强度平均为 $\sigma \approx 4400$ MPa，显然如果生产厂家采用了近10吨的嵌齿压力，那就将把任何牌号的硬质合金柱齿压裂，不管它是那国的王牌柱齿合金，绝不会有例外。

为了验证上述分析的正确性，我们将嵌有K308D合金球齿 $\Phi 48$ ， $\Phi 57$ ， $\Phi 64$ 等三种钎头各选一只，对钎头未损坏的中齿进行压裂试验。试验前我们曾估计对于压痕直径为3mm来说，开始产生压裂的压力约为3-4吨，实测结果如表1所示，显然可见试验与预测完全吻合。

嵌有K308D合金柱齿钎头压裂试验结果 表1

钎头直径 (mm)	柱齿直径 (mm)	压痕直径 (平方毫米)	开裂压力 (t)	开裂应力* (MPa)
$\Phi 48$	10	4.16	3.8	6761
$\Phi 57$	10	4.16	4.2	9534
$\Phi 64$	10	4.16	3.9	7197

* 开裂应力为计算值(下同)。

更重要的是压痕形态与裂纹产生及扩展的走向与嵌齿开裂情况完全相同，从而证明了开裂原因分析的正确性。

为进一步验证和探讨不同压痕面积的开裂规律，我们选用不同硬度的上压垫块与K308D合金柱齿接触传递压力进行压裂试验，试验结果如表2所示，试验结果表明，随着压痕面积的增加，开裂压力亦随之增大，而开裂应力值却降低。

压痕面积对开裂压力的影响 表2

钎头直径 (mm)	柱齿直径 (mm)	压痕面积 (平方毫米)	开裂压力 (吨)	开裂应力 (MPa)
$\Phi 57$	10	9.08	6.1	6590
$\Phi 64$	10	9.08	6.6	7130
$\Phi 64$	10	10.18	6.6	6360
$\Phi 48$	10	11.34	7.0	6056
$\Phi 57$	10	28.0	12.5	4380

为了查明合金柱齿直径和高度以及形状对开裂压力的影响，我们对 y J 1 , y J 2 牌号的不同型号的合金柱齿进行了压裂试验，试验结果如表 3 所示，从表 3 可见开裂压力随着合金柱直径的增大而增大，在直径相同时球头柱齿比弹头柱齿的开裂压力要大些，y J 2 合金的开裂压力稍高于 y J 1 合金。

不同型号的 y J 合金柱齿压裂试验结果

表 3

合金牌号	柱 齿 尺 寸 (mm)	柱齿 形状	压痕直径 (mm)	开裂压力 (KN)	开裂应力 (MPa)
y J 1	$\Phi 9.9 \times 15.3$	球头	2.8	46.0	7470
	$\Phi 9.9 \times 15.3$	球头	3.1	42.5	5631
	$\Phi 10.9 \times 15.6$	弹头	2.2	32.5	8550
	$\Phi 10.9 \times 15.6$	弹头	2.4	36.5	8070
	$\Phi 12 \times 15.1$	球头	3.1	59.0	7820
	$\Phi 12 \times 17.3$	弹头	2.3	29.5	7100
	$\Phi 12 \times 17.3$	弹头	2.7	36.0	6288
	$\Phi 12 \times 17.3$	弹头	2.8	42.5	6900
	$\Phi 12 \times 18.2$	球头	3.2	62.0	7710
	$\Phi 12 \times 17.4$	弹头	2.4	35.5	7347
	$\Phi 13 \times 20.3$	球头	3.2	64.5	8024
	$\Phi 12 \times 17.9$	球头	2.9	79.0	11960
	$\Phi 18 \times 25.4$	球头	4.0	100.0	7960
y J 2	$\Phi 9.9 \times 10.2$	球头	3.0	54.0	7640
	$\Phi 9.8 \times 15.2$	球头	2.9	51.0	7721
	$\Phi 9.9 \times 15.1$	弹头	2.4	42.0	9284
	$\Phi 12 \times 15.2$	弹头	2.8	41.0	6660
	$\Phi 12 \times 18.2$	球头	3.0	51.5	7286
	$\Phi 14.1 \times 15.1$	球头	3.0	61.0	8630
	$\Phi 13.9 \times 20.8$	球头	3.6	89.0	8744
	$\Phi 13.9 \times 20.3$	弹头	3.2	54.0	6710
	$\Phi 15.8 \times 22.1$	球头	4.1	101.5	7688
	$\Phi 15.9 \times 23.0$	球头	4.2	101.0	7290
	$\Phi 18.0 \times 27.0$	球头	3.9	121.0	10130

为便于进一步讨论, 在表4 中列出所研究的三种凿岩硬质合金的成分与主要性能。

表4

牌 号	成 分			晶 粒 度 (μm)	性 能		
	钴	碳化钨	碳化钼		抗弯强度 (MPa)	硬 度 (HRA)	密 度 (g/cm^3)
y J 1	9	91	-	2 - 4	2200	87.0	14.6
y J 2	8	92	-	2 - 4	2100	87.0	14.7
K 308 D	8	91	≤ 1	2 - 3	2100	88.0	14.7

四. 讨论

1. 压痕大小对开裂压力的影响

及2 试验结果通过线性回归处理, 可得 $P - d$ 关系图(见图3), 由图

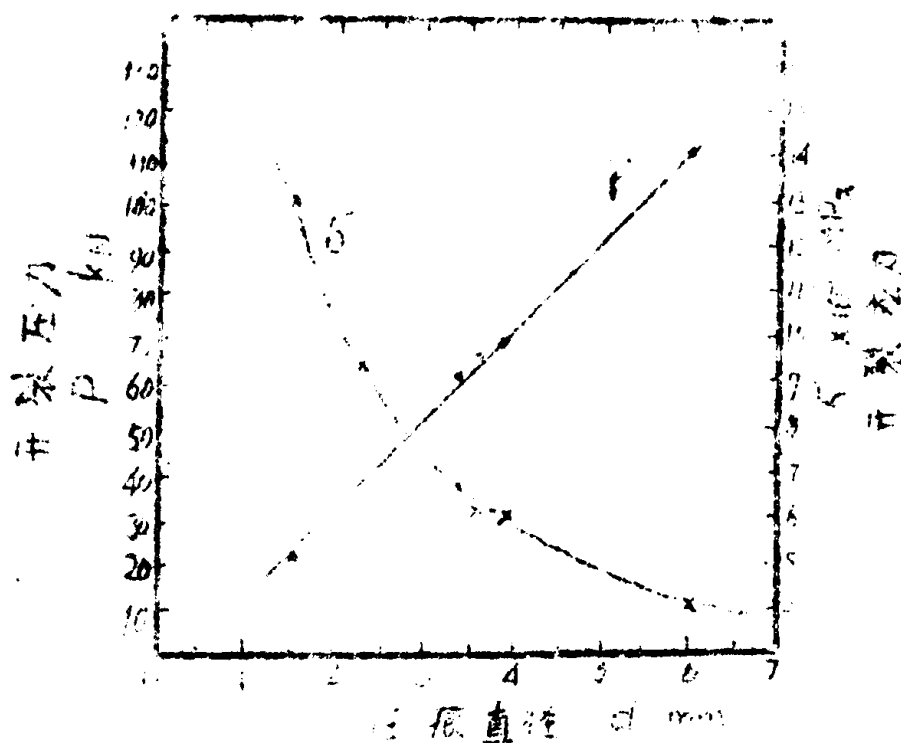


图3 压痕直径(d) 对开裂压力(p) 及开裂应力的影响

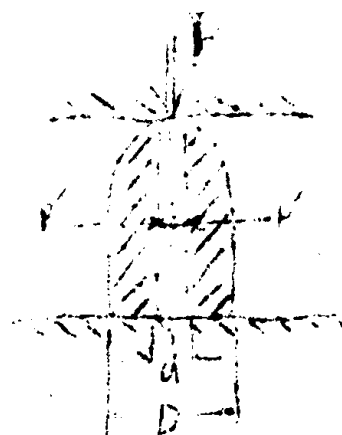
可见,随着接触面积的增大(即压痕直径的增大),K308D $\Phi 10$ 合金柱齿所能承受的开裂压力亦增加,在所试验范围内的接触面积的直径 d 与开裂压力有下列直线关系式:

$$P = 23.42d - 17.24 \quad (1)$$

从式(1)可以确定不同的接触面积下的合理嵌齿压力,例如当接触面积为 $S = 1.77$ 平方毫米($d = 1.5$ mm)时, $P < 18$ KN,当接触面积增到 $S = 28.27$ 平方毫米($d = 6$ mm)时, $P < 123$ KN,其实,在过盈冷嵌固齿时,当过盈量为 $\Delta B = 0.06$ mm,嵌齿压力一般20-40 KN已足,当然这时的接触面积应为 $S > 71$ 平方毫米(即 $d = 3$ mm)。在热嵌固齿时,过盈量一般为 $\Delta B = 0.04 - 0.07$ mm,加热温度 $t = 350 - 400$ $^{\circ}\text{C}$,此时嵌齿压力一般只需5 KN已足够,根本不需要采用近10吨的嵌齿压力。

由图3还可看到,随着接触面积的增加,合金的开裂应力逐渐减少最后应趋向合金的抗压强度极限,接触面积小时有高的开裂应力的原因应归究于外围合金材料的固紧作用,如图4所示。当合金柱受压力 P 作用时,接触直

图4 合金柱齿中心与外围材料受力情况示意图



径 d 的中心柱受压后力图向外膨胀,而产生一膨胀力 P' ,使外围合金材料承受着张应力,当膨胀应力超过合金柱外围材料的抗张应力极限时,合金柱便破裂,当 d 越小于 D 时,外围材料作用亦越大,这就使得按接触直径 d 计算的开裂应力亦增大,当 $d = D$ 时,开裂应力就等于合金材料的抗压强度极限了。虽然小的接触面积有较高的开裂应力,但合金柱齿能承受的总的开裂压力还是小的,因此,要使合金避免压裂,根本的办法是增加接触面积,即改点接触为曲面接触,见图5所示。

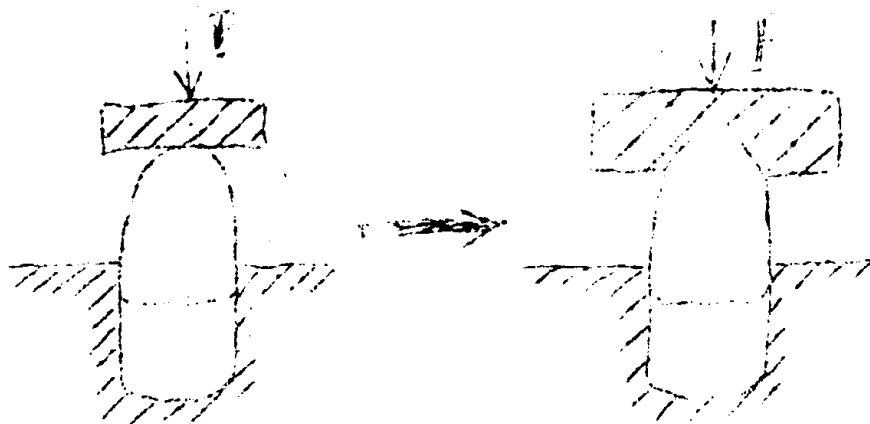


图5 点接触为曲面接触

2. 合金柱的几何尺寸对开裂压力的影响

表3 的试验结果可用图6 来表示。由图6 可见，随着合金柱齿直径的增

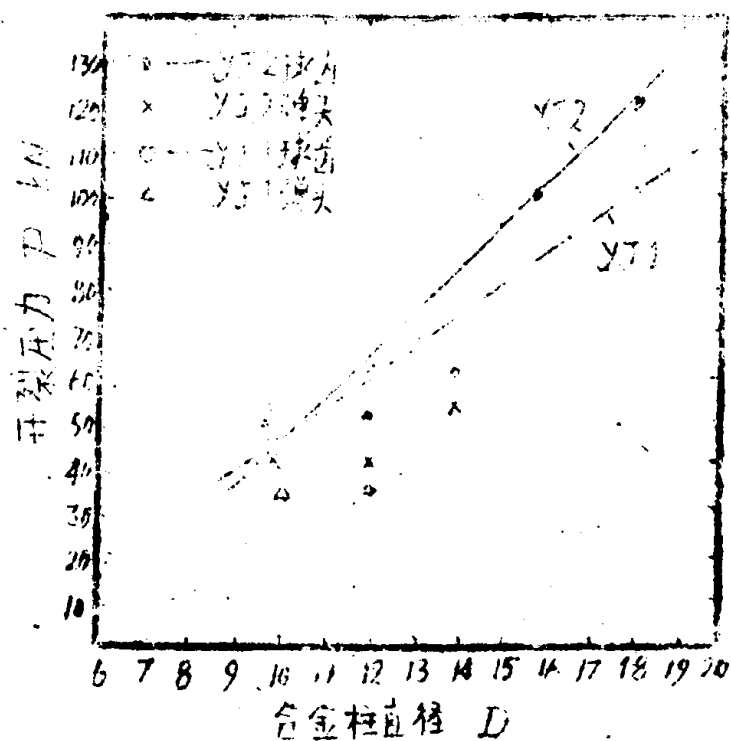


图6 合金柱的几何尺寸对开裂压力的影响

大，能承受的开裂压力亦增加，在实验的范围内呈直线关系，对y J 1 球齿合金有：

$$P_1 = 6.665D - 20.98 \quad (2)$$

对y J 2 球齿合金有：

$$P_2 = 8.63D - 39.28 \quad (3)$$

由式(2)及式(3)可以确定，当接触直径 $d \approx 3 \text{ mm}$ 时的嵌齿压力的最大极限值，通常实际嵌齿压力取开裂压力的 $1/2 - 1/3$ 已足够。

y J 2 合金钴量稍高于y J 1 合金(约高1 - 1.5%)，由于合金的抗压强度随钴含量的降低而增加[2]，故y J 2 合金柱齿的开裂压力稍高于y J 1 合金，这是正常现象。

与球头柱齿相比，弹头柱齿在同等压力下与传压板的接触面将小于前者，且头部周围材料亦较薄，因而使得在同等条件下弹头柱齿的开裂压力低于球头柱齿，对于选用弹头柱齿的钎头，在进行嵌齿时，这个因素是必须考虑到的。

3. 合金柱的开裂应力与合金的抗压强度

硬质合金的抗压强度与一般金属与合金材料相比要高出许多，这是硬质合金这种特殊材料的一大优点，但通常人们多关心硬质合金的抗弯强度，而对抗压强度注意不够，本文所述的压裂情况就是与抗压强度密切相关的，与抗压强度有关的还有在钎头进行凿岩时，当然钎头在凿岩时受力状况是很复杂，但对钎头中部的合金柱齿来说，基本上是承受轴向压力。由于硬质合金抗压强度高，而在柱齿的顶部受压所能承受的开裂应力又比合金本身的抗压强度要高出许多(见表2，表3所列)，因此在进行凿岩时，合金柱齿只能破坏岩石，而不会被岩石所破坏。因为岩石的抗压强度远低于硬质合金柱的抗压强度，在钎头边齿受力情况与中部齿受力情况相比要复杂得多，在工作时常有折断现象，其原因与合金的抗压强度关系不大，在文献[3]中有详细的分析。

五. 结论

1. 产生压裂的根本原因是嵌齿压力超过了合金抗压强度所容许的限度。

只要采取相应的正确工艺措施, 就可以完全杜绝压裂现象的产生。

2. 改变点接触为曲面接触以增大受压面积是保证合金柱不被压裂的关键, 对 $\Phi 10$ 的球头及弹头来说, 其接触面积不能小于 $S = 7.1 \text{ mm}^2$ (即 $d = 3 \text{ mm}$), 最好是 $S = 28 \text{ mm}^2$ (即 $d \approx 6 \text{ mm}$)。

3. 可以参考式(1), 式(2)及式(3)来合理选择 $yJ1$, $yJ2$ 及K308D等合金嵌齿的极限压力, 对于冷嵌固齿通常选取嵌齿压力为开裂压力的 $1/2 - 1/3$, 而对于热嵌固齿只需5KN已足。

参考文献:

1. 窪田治夫等《粉末冶金应用制品(I)》日刊工业新闻社(1964) 205.

2. P. Schwarzkopf & R. Kieffer:
Cemented Carbides, The Macmillan
Co. (1960) 141.

3. 王九如 易凯华 《硬质合金柱齿钎头断齿原因的分析》 第四次
全国硬质合金学术会议论文 (1989.10)。

ESQ

硬质合金柱齿钎头断齿原因的分析

中南工业大学粉末冶金厂 王九如 易凯华

一. 柱齿合金钎头失效的原因

七十年代初, 由于高效大功率液压凿岩机的迅速发展把柱齿合金钎头推上了历史舞台, 并形成与片状合金钎头对抗、竞争的局面, 有的还认为柱齿合金钎头有可能取代片状合金钎头。

随着柱齿合金钎头需求量的增加, 对柱齿合金钎头的设计、加工、使用等方面的研究也在不断深化。

柱齿钎头使用中失效的原因不外是:

1. 磨损
2. 断齿
3. 掉齿
4. 折腰

对于第一种失效可能是正常磨损, 亦可能是选用合金牌号不当而造成过早的磨损失效, 对于第三种失效多为凿齿工艺不当造成的, 对于第四种失效可能是钎头加工工艺不当或选材不当, 不少资料已对此作了较深入的分析, 对于第二种断齿失效目前虽有论述, 但看来仍待进一步探讨。

二. 柱齿合金钎头断齿的形式及原因

柱齿钎头断齿多产生在边齿, 这是由于边齿与钎头中心线成 α 角, 与顶齿相较承受着较复杂的应力的缘故。

断齿通常有三种形式, 一为摘帽, 一为碎断(见图1), 一为折断(见图2), 柱齿摘帽多是合金在成型中产生未压合裂纹引起的, 但不排除过盈量过大及过敲击等因素, 碎断若出现在使用晚期, 则多属正常碎断, 若出现在使用早期, 则多与合金齿的内在质量或选用合金牌号不当有关。

折断多为边齿(也有少数产生在顶齿), 产生折断的原因说法较多,



图1 合金的碎断(×2)



图2 合金齿的折断(×2)

有的认为是合金质量不好，而引起折齿，有的认为是 α 角太小，眼壁岩石由外向里把边齿挤碎，有的认为是 α 角过小引起齿根裸露过多，引起边齿工作后期发生“外翻碎断”[1]。

对折齿进行认真观察与分析就可以发现，上述说法都是欠妥的，下面我们从小断口分析入手，并对齿的折断过程进行受力分析来探讨折齿的真正原因，并由此来探求防止折齿的工艺方法。

三. 折齿的宏观断口分析

图2 是典型的边齿折断的照片，照片提示了边齿折断的特征是：

1. 折断是在填入齿高的 $1/3 - 1/2$ 处，孔内留有折断的残齿身。
2. 从折断齿的断口上可以看到，在靠钎头边部为光滑平整的断口或有放射状纹路，而靠钎头顶部则出现横向断裂纹。

断口宏观特征记载了断裂的全过程：即边齿的折断是从钎头边部处开始，而在钎头顶部处告终，换句话说：合金齿不是“外翻碎断”，而是内翻折断。

大量硬质合金抗弯试样断口均无例外地揭示这样一个规律，即在张应力面处断口都是呈光滑平整或呈放射状纹路，而在压应力区则出现一条或多条的横向裂纹[2-4]，断齿的断口特征记载的正是硬质合金弯曲脆断的最一般的、绝无例外的宏观断口特征。由断齿断口特征可知，光滑平