

热等静压在硬质合金钎头上的应用

中国地质大学掘进工程研究室 符夷雄

提要 热等静压是50年代中期,开始在美国发展起来的一项新技术,目前已在世界各国工业部门日益广泛应用。在矿山采掘工作中,对钎头硬质合金片进行热等静压处理,能提高硬质合金钎头的疲劳强度和抗冲击性能,获得良好的经济效益。本文较详细地叙述了热等静压原理与实际应用效果。

一、前言

据有关资料介绍,中小直径硬质合金钎头国内年消耗量约1000万个,由于硬质合金碎片(齿)而造成提前失效所占的比例很大。同一类型的钎头在不同的凿岩条件中使用,其失效形式是不同的。在坚韧和极坚韧岩性中,片状钎头的主要失效形式是碎片;对于球齿钎头而言,不论在何种岩性中使用,碎齿(特别是碎边齿)是其主要失效形式。在这种情况下,常规的解决办法是提高硬质合金的钴含量使其韧性增加,但这使得片状钎头的磨次进尺降低;球齿钎头则由于钴含量增加、耐磨性下降而失去其优越性。

球齿钎头在许多场合,具有许多片状钎头无法比拟的优点,在各采掘部门应用日趋广泛。特别在大中直径范围内,国内外几乎都采用液压凿岩机配套使用球齿钎头。随着我国铁道、水电、煤炭、冶金、地质等部门进口的液压钻车(机)的日益增多,球齿钎头的消耗量也越大。特别对中大直径球齿钎头而言,由于设计、制造、材质的原因,国内生产的球齿钎头与瑞典等国先进水平相比还是有很大差距。据现场大量统计,其寿命指标只达瑞典同类球齿钎头的70%左右。为了发挥球齿钎头破岩有效、磨次进尺高的优点,一般要求球齿合金耐磨性能良好。国内钎头生产厂家,一般选用钴含量为10%的合金齿,而瑞典等国

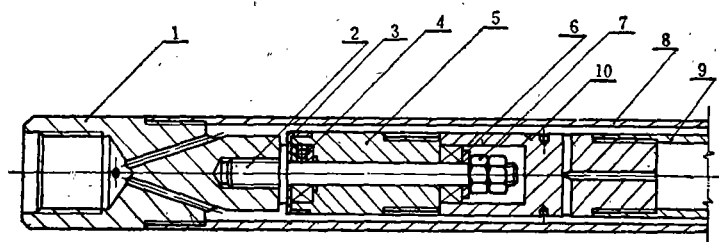


图1 $\phi 56$ 普通双管钻具

1—外管接头; 2—轴; 3—护盖; 4—轴承; 5—压盖; 6—垫; 7—螺母;
8—外管; 9—内管; 10—内管接头

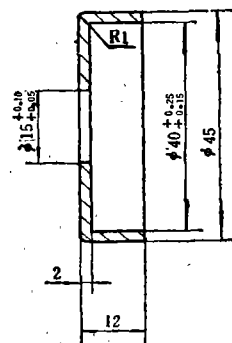


图2 护盖

节省一半,同时又节约了材料和加工工时,使轴的加工成本显著降低。

在原设计中,轴上装有一个螺母(7),外端有开口销防松。上述固定方式不具备可调性,现改为双螺母固定,钻工们则能按照需要随时调整推力轴承的轴间间隙。

通过以上改进,使得 $\phi 56$ mm普通双管钻具在原有优点的基础上,成本进一步降低,使用寿命延长,经济效益显著提高。

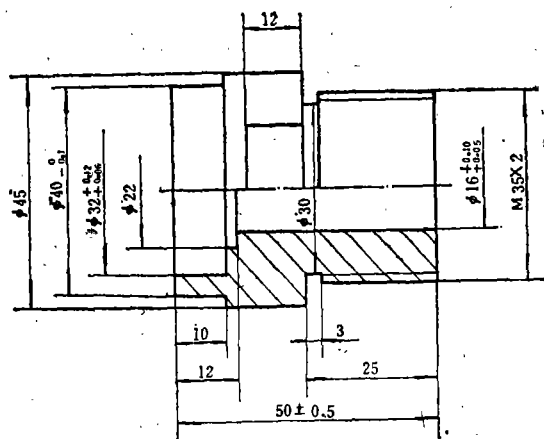


图3 压盖

球齿钎头合金齿的钴含量一般为6—8%。在凿岩过程中,钎头中期碎齿约占40—50%。为了解决这一问题,在硬质合金的水平不可能有大幅度提高的情况下,我们对钴含量为8%左右的普通合金齿进行热等静压处理在使用中取得良好的效果。笔者认为,对成本较高的中大直径球齿钎头和在凿岩条件苛刻的情况下,对硬质合金片(齿)进行热等静压处理,是提高钎具使用寿命和降低采掘部门凿岩成本的积极措施。

二、热等静压原理

热等静压(HIP)是在高温下用气体对材料施于各向均等高压的一种工艺,这项技术是20世纪50年代中期美国的 Battelle 研究所为连接核燃料棒而发明的。HIP的重要作用是大幅度地减少材料内部的孔隙和内部的缺陷。它能使硬质合金的组织致密,从而提高硬质合金的疲劳强度和抗冲击性能等。硬质合金在HIP过程中发生的内部结构变化主要是由于原始晶核的破碎而降低微孔造成的。HIP 的高温和三维压力使合金结晶时塑性变形和原子扩散达到了理想的效果,其致密化机理可归结为,塑性屈服,高温蠕变和分子扩散。

硬质合金具有高强度,高耐磨性的特点,在各个领域广泛应用。随着时间的推移,人们认识到,硬质合金的孔隙是一个严重的弱点,有时在同一批号的硬质合金中,其工艺、成份等均相同,但其强度则有显著的差异,这在很大程度上取决于硬质合金的微观结构。1977年, Gurland 研究表明,具有相同钴含量的硬质合金,由于WC的颗粒和其它微观参数的不同,其强度有一变化区域。硬质合金作为一种脆性材料,不可避免地存在一些孔隙,夹杂等缺陷,而这些缺陷相当于微小裂纹源,在应力作用下,往往没有或只有非常有限的亚临界扩展过程,即这些微裂纹一经扩展就很快导致合金断裂。实验证明,硬质合金断裂属于快速脆断,断口呈粗糙型。研究如何减少孔隙是硬质合金生产厂家极为重要的课题。世界上一些先进的硬质合金生产厂家都把HIP技术作为改善产品的重要手段。据资料介绍,美国超高温有限公司,为了验证HIP的有效性,在硬质合金中人为地制造缺陷,烧结后的合金重新加热到烧结温度,并施加0.35—1.75MPa的气体等静压,实验表明,长度为1cm,直径为0.5—1mm的大孔隙可以有效地闭合。我国从70年代开始引进和研制热等静压机,据了解全国仅有4—5台设备在使用中。HIP作为一种崭新的技术正日益受到人们的重视,尤其在制造石油钻探钻具,潜孔钻具方面发展更为迅速。

三、热等静压对硬质合金性能的影响

1. HIP对硬质合金物理性能的影响

为了了解HIP对硬质合金性能的影响,我们委托石油部江汉石油管理局,对常规工艺生产的硬质合金进行HIP处理。为了便于比较,处理前对试样进行分析,随后将此试样与其它合金一起进行处理,分析结果见表1。

表 1

硬质合金生产厂家	合金牌号	合金规格	合金状态	密度(g/cm ³)	硬度(HRA)	矫顽磁力(HC)θe
中南工大冶厂	YJ1	球齿φ12	处理前	14.56	87.9	72
			处理后	14.58	88.1	72
株洲硬质合金厂	YG85	球齿φ14	处理前	14.71	89.1	100
			处理后	14.72	89.1	102

2. HIP对硬质合金金相的影响

热等静压前后硬质合金的晶粒结构见图1、图2。从图中可以看出,经HIP处理后的WC晶粒虽有所长大,不过长大的程度是很有限的。因为热等静压进行的温度对孔隙只发生充填作用,对晶粒的长大影响很小。

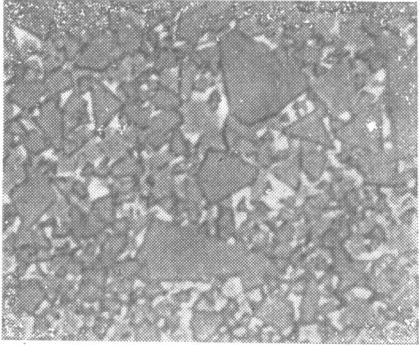


图 1 (×1500)

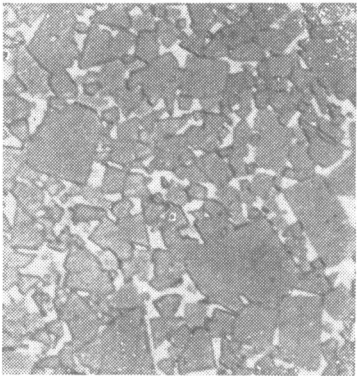


图 2 (×1500)

3. HIP对硬质合金孔隙度的影响

孔隙度指标在很大程度上反映了硬质合金质量的好坏,孔隙与合金强度、耐磨性有着不可分割的关系,数量越多,影响越大。图3是粉末压制性能不好,烧结后在合金内部残留的典型孔洞。分析表明,热等静压处理后,硬质合金内部存在的A类孔隙全部消除,即使是B类孔隙经热等静压处理后也完全消失。但是为了保证热等静压的效果,硬质合金的孔隙度应尽可能小些。

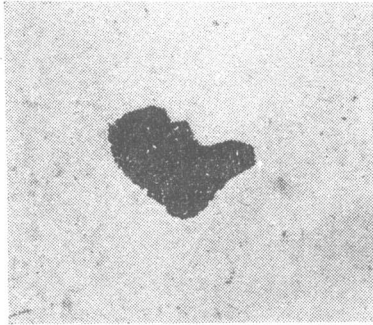


图3 残留合金内部的典型孔洞(×500)

4. HIP对硬质合金强度的影响

用断裂力学对硬质合金使用性能进行评价时,首先要确定缺陷的大小和形状。由于缺陷数量,形状各异,尚需进行具体分析。作为分析,可以将缺陷看成许多微小裂纹群,首先将其简化成一组平面裂纹,由于一组平面内的缺陷不多,且间距较大,所以可以用单个大缺陷分析考虑。

应用断裂力学理论可以近似推得硬质合金中孔隙大小与强度及断裂韧性关系。假定合金中存在着一椭圆裂纹,在拉伸应力作用下的裂纹应力强度因子可由下式确定。

$$K_I = \frac{\sigma\sqrt{\pi a}}{\phi} (\sin^2\varphi + \frac{a^2}{c^2}\cos^2\varphi)^{1/4} \quad (1)$$

式中:

- a ——椭圆裂纹的短半轴长度;
- φ ——裂纹方向角;
- c ——长半轴裂纹长度;
- σ ——硬质合金应力强度;

$$\phi = \int_0^{\pi} \left(\sin^2\varphi + \frac{a^2}{c^2}\cos^2\varphi \right)^{1/2} d\varphi$$

将第二类椭圆积分 ϕ 值用级数展开,化简得:

$$\phi = \frac{3\pi}{8} + \frac{\pi a^2}{8c^2} \quad (2)$$

K_I 沿裂纹前缘变化时,在短轴的端部($\varphi = \frac{\pi}{2}$)

处,应力强度最大。在临界状态下,令 $y = \sqrt{\pi}/\phi$,则有:

$$K_{Ic} = y\sigma_c\sqrt{a_c} \quad (3)$$

式中: σ_c ——临界状态应力;

a_c ——临界状态短半轴裂纹尺寸。

根据[1],取 $y = 1.31$,则(3)式变为:

$$a_c = 0.58 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_c} \right)^2 \quad (4)$$

K_{Ic} 表明硬质合金抵抗断裂的能力,某种微观结构和钴含量一定的硬质合金来说,其值为常数。对于钴含量为8—15%的粗晶粒硬质合金, $K_{Ic} = 16-20$ (MPa $\sqrt{m}$),对于矿用硬质合金来说, K_{Ic} 值大小与钴含量的关系见(5)式[2],(C_0 以%表示)。

$$K_{Ic} = 15.5\sqrt{2\sqrt{C_0(7-12C_0)}} \quad (5)$$

根据(4)、(5)式,以及对硬质合金HIP处理前后缺陷大小进行实测分析,可以近似得到不同钴含量硬质合金热等静压处理前后,它们的抗弯强度的变化,见图4,资料[3]也有同样的结果。

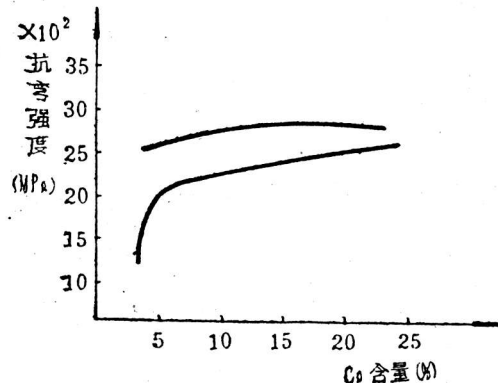


图4 热等静压处理对合金抗弯强度的影响

假定某种钴含量为10%的合金,其 $K_{Ic} = 16.7$ MPa $\sqrt{m}$,其内部存在当量孔隙大小为 25μ 、经热等静压处理后,孔隙降为 15μ ,由(4)、(5)式可以算得该类硬质合金的抗弯强度将由 2.6×10^3 MPa提高到 3.3×10^3 MPa。以上仅是粗略估算,但热等静压具有良好效果却是事实。有资料介绍,采用热等静压处理,硬质合金的抗弯强度能接近 8×10^3 MPa。

硬质合金钎头在凿岩过程中,承受着交变的拉压弯扭冲击载荷、磨损,以及应力腐蚀作用,受力工况十分恶劣。经过热等静压处理后的硬质合金钎头,由于合金强度有较大提高,因此能更可靠地在此条件下工作。

四、热等静压在硬质合金钎头上 的应用效果

为了验证理论分析的结果,我们加工了一批钎头,合金片(齿)均采用热等静压和非热等静压两种。为了使试验具有可比性,我们在每组钎头中,采用相同的规格、工艺和几何结构参数;试验钎头采用随机抽样,其工艺、规格、几何结构参数,以及试验结果等见表2。

从试验结果可知,在岩石极坚韧、凿岩机冲击力较大的情况下,采用热等静压技术对防止碎片、碎齿是一有效的措施。对大直径球齿钎头,由于对硬质合金齿采用热等静压处理,合金齿可选用钴含量较低的硬质合金,这使得球齿钎头耐磨性增加,磨次寿命提高,而且其平均凿岩纯钻速略有提高。采用热等静压处理的钎头寿命普遍约提高30%左右,热等静压而产生的费用(一个 $\phi 76$ 球11齿钎头处理后增加约5元)完全可以由其产生的综合效益得到补偿。

表 2

试验地点	钎头 型式	齿径 (mm)	合金类型	边齿数 (个)	钎头数 (只)	直径(mm)		平均 (不磨) 寿命 (m)	修磨 次数 (次)	平均纯 钻速 (cm/min)	岩性、抗 压强度 (MPa)	机 型
						始	终					
四川泸沽 铁 矿	$\phi 40$ 一字	—	YJ ₁	—	7	40	38.3	10.04	5	26.5	磁铁矿	7655气动 凿岩机
	$\phi 40$ 一字	—	K610(HIP)	—	5	40	39.1	16.33	8.8	17.4	韧性大	
	$\phi 40$ 一字	—	K610(HIP)	—	2	40	39.1	15.24	8	18.35	462.8	
闽江水 电工程局	球11齿	14	YJ ₁	6	5	76	75.1	27.2	—	34.2	花岗闪长岩	COP1036HB
	球11齿	14	YG85(HIP)	6	1	76	75.6	51.5	—	30.5	351.3	凿岩机
广西水电 工 程 局	球13齿	12	YJ ₁	8	2	89	88.1	285	—	90.3	花岗岩、 夹风化层	COP1038LE 凿岩机
	球13齿	12	YJ ₁ (HIP)	8	3	89	88	349.3	—	89.5	150.3	

表中 $\phi 40$ 片状钎头结果引自:《极坚韧岩石用特重型钎头的研究》

五、结 论

在一些特殊凿岩条件下,对硬质合金进行热等静压处理,将有利于提高钎头的使用寿命、防止碎片、碎齿,它能大量地降低钢材和硬质合金的浪费,能获得良好的社会效益。热等静压对硬质合金的物理性能、金相结构等影响不大;它能大幅度降低硬质合金的孔隙、缺陷,从而使硬质合金组织致密,能使硬质合金的抗弯强度,疲劳强度有较大提高。在中大直径 $\phi 50$ — $\phi 89$ 球齿钎头设计中,边齿选用 $\phi 12$ 、 $\phi 14$ 规格,且进行热等静压处理,是提高钎头使用寿命,缩小与瑞典、日本等国同类产品的差距的积极措施。可以预料,热等静压将逐步引起人们重视,并在各个

领域应用将日益广泛。

参 考 文 献

1. E. A. Almond and B. Roebuck, The transverse rupture test for hardmetal, Met. Sci., 1977;
2. 陆远明《WC-C₆₀硬质合金断裂韧性与其成份和结构的关系》,《硬质合金》, 1988, No3;
3. E. Arzt and M. F. Ashpy, Practical applications of HIP diagrams, Metallurgical Transactions, February 1983;
4. Hellmut F. Fischmeister, Development and Present status of the science and technology of hard materials, 1983.

◎ 简 讯 ◎

应中华人民共和国地质矿产部成果评审委员会副主任、全国探矿工程专业委员会主任委员刘广志教授级高级工程师的邀请,联邦德国克劳斯塔尔工业大学深钻及采油技术研究所所长克劳斯·马克思教授于5月份前来中国进行参观考察和讲学。在四川省地质学会探矿工程专业委员会的组织下,5月22日马克思教授和刘广志高级工程师在成都探矿工艺研究所分别作了题为《大陆超深钻》和《联邦德国钻探新技术》的学术报告。马克思教授介绍了超深钻的意义与作用,介绍了联邦德国及其他国家在超深孔钻探诸如钻探设备、钻探工艺和钻探工具等方面所取得的重大进展。刘广志高级工程师在报告中介绍了在联邦德国考察时的所见所闻,他分析了世界性钻探工作衰退的主要原因并提出了看法。他认为在中国进行超深孔钻探势在必行,广大的探矿界同行应对超深钻的有关理论和技术进行深入研究,施工超深钻孔必将推动探矿工程事业的发展。(下转第64页)