维普资讯 http://www.cqvip.com

镀膜金刚石工具中以Fe代Co的胎体配方的试验研究*

段隆臣 杨凯华 汤凤林
(中国地质大学勘察与建筑工程学院·武汉·430074)

从分析锯切对金刚石圆锯片胎体性能的要求出发,根据金属材料学的基本理论,确定了提高胎体机械性能的微量元素之后,试验研究了胎体主要成分WC、Fe/Ni、663-Cu;烧结工艺参数中的烧结温度和保温时间等5个因素对胎体综合指标的影响,所研制的胎体配方达到了锯切生产的要求。

关键词 金刚石圆锯片 胎体主要成分 胎体综合指标

目前国内外相对成熟的胎体配方基本上都是以金属Co作为粘结剂,由于我国是贫钴国,70%左右的钴需进口,所以我国钴金属的供应价格受国际市场的影响大,目前钴粉的价格高达720元/kg。因此,开展以性能相近价格低廉的Fe替代金属Co,具有明显的经济价值和市场前景。本文作者在"胎体配方中以Fe代Co存在的问题分析"一文中认为胎体配方中以Fe代Co的关键在于应用镀膜金刚石和优选Fe基胎体配方。本文针对镀膜金刚石优选Fe基胎体配方。根据石材锯切生产对锯片胎体性能的要求,以胎体的硬度和冲击韧性作为目标函数,研究以Fe代Co的胎体配方。

1 锯切对金刚石锯片胎体性能的要求

金刚石圆锯片在锯切石材时,其胎体的硬度指标与岩石的大致关系如表1[1]。

表1 锯片胎体硬度与用途

适用范围	硬度(HRB)	密度(g/cm³)	附注
切割中软大理石	85~87	8.64	小直径锯片
切割中硬大理石	91~94	8.54	大直径锯片
切割硬花岗岩	104~108	8.9	高耐磨锯片
切割硬花岗岩	98~102	8.6	高效率锯片
切割中硬花岗岩	88~92	8.4	

众所周知,金刚石圆锯片切割石材时,线速度高达30 m/s~40 m/s,对于单个锯齿而言,则承受很高的脉冲载荷,因此本文作者认为胎体除了满足表1的要求外,还应具有高的冲击韧性。否则金刚石圆锯片在锯切过程中,易出现崩刃现象。

2 提高胎体强度、冲击韧性的措施

根据金属材料学基本理论,提高胎体的机械性能,可从3个方面考虑。

2.1 固溶强化

在以Fe代Co的胎体中增加Ni、W、Mo作为主要固溶强化元素,起固溶强化作用,并可用Mn取代部分Ni,同时Mn亦可作为热压烧结过程中的脱氧剂,W、Mo的加入量可根据相图确定。

2.2 第二相强化

在以Fe代Co的胎体中加入钛、铝、铌、钒等,并辅以一定的石墨量,以达到在热压烧结过程中形成碳化物作为第二相强化胎体。一般Ti的含量控制在1%,石墨的含量控制在1%以下,若这些元素含量太高,会降低胎体的韧性,增加胎体的脆性。

在胎体中加入微量石墨,对结合剂有多

本文1997年12月收到,1998年3月改回,王 梅编辑。
* 本文内容为湖北省科技项目"耐磨功能材料制备"中的一部分

维普资讯 http://www.cqvip.com

种有益作用。石墨属密排六方层状结构，它是一种固体润滑材料，可以作为脱模剂；石墨加入结合剂中，能使粉末颗粒之间的摩擦阻力降低，改善结合剂的压制性能；石墨在高温下能与氧作用，烧结时对金刚石和结合剂起保护作用；石墨在结合剂内还能润滑切削面，降低摩擦力，提高切削效果。

2.3 晶界强化

在结合剂中加入微量稀土元素（锆、铈）作为晶界强化元素，以提高胎体的强度和冲击韧性。

本文在确定上述一些强化元素的含量之后，主要考虑以下几个因素对胎体硬度和冲击韧性的影响。

3 胎体中基本组元的选择

胎体中的基本组元分为 2 类：一类为骨架成分，它在胎体中起硬质点的作用，在烧结过程中防止金刚石的移动和增强胎体的耐磨性；一类为粘结成分，它的作用是使骨架成分和金刚石粘结起来。

3.1 骨架成分

目前，胎体中所使用的骨架成分一般为难熔金属化合物，它们熔点高，硬度高，且具有金属特性。对骨架成分的要求有以下几点：具有足够硬度，以防止金刚石在工作中的位移；具有较好冲击韧性，以能承受复杂多变的载荷；导热性能、线胀系数尽量和金刚石接近；成形性好，满足胎体能形成各种形状。

据表 2[2]，采用 WC 作为骨架成分较为理想。它的导热率最高，热胀系数与金刚石接近，并且有最高的硬度，同时成形性好。

3.2 粘结成分

胎体对粘结金属的要求有以下几点：能很好地润湿碳化物和金刚石，并且散布在碳化物颗粒表面；两相界面能形成一种牢固的结合；具有优良的机械性能，以保证粘结金属连续的薄膜能承受碳化物颗粒传给的应力；熔点低。由于本文采用镀膜金刚石，其表面的结构从里至外：C－MeC－Me，因此粘结金属着重从对 WC 的润湿和机械性能考虑，并兼顾经济性，本文选择 Fe、Ni、663－Cu。

表 2 某些难熔金属化合物性质

金属碳化物	熔点（℃）	密度（g/cm³）	显微硬度（MPa）	弹性模量（MPa）	导热率（W/m·K）	热胀系数（×10⁻⁶）
HfC	3890	12.6	29100	35900	6.28	5.6
TaC	38800	14.3	16000	291000	22.19	8.3
ZrC	3530	6.9	28360	355000	17.58	6.73
NbC	3500	7.56	20550	345000	14.23	7.8
TiC	3250	4.93	31000	350000	16.74	7.4
WC	2630	15.5	17130	720000	29.30	5.2
VC	2830	5.81	20940	276000	/	/
W_2C	2750	17.2	30000	428000	/	/
Cr_3C_2	1875	6.68	13000	194000	20.93	6.15
SiC	2700	3.21	2200～2900	11600/14500	15.49	4.3～4.8

4 试验设计与分析

4.1 试验设计

采用正交试验设计并结合多年的生产经验进行试验，以 WC、Fe/Ni、663－Cu、烧结温度、保温时间 5 个因素，4 个水平进行试验，以胎体硬度、冲击韧性作为目标函数考察胎体成分的变化对胎体性能的影响，其因素水平表见表 3。

试样制备过程几点说明：

(1)按设计的配方计称各组份的重量，然后在球磨筒中研磨混合，并加入一定的酒精或其他有机溶剂作为球磨介质，研磨混合时球料比 1:1。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表3　试验采用的5因素4水平表

因素	WC	Fe/Ni	663－Cu＋其它	T（℃）	t（min）
1	5%	1:1	30%	840	1
2	10%	1.5:1	40%	880	1.5
3	15%	2:1	50%	920	2
4	20%	2.5:1	60%	960	2.5

(2)在电阻炉中进行烧结,升温速度150℃/min,压制压力15MPa。

4.2　试验方案及结果

试验方案及结果见表4。为了反映指标的需求,采用综合评分法。根据锯切中硬花岗岩要求,据表1将硬度指标定为HRB91,冲击韧性定为3.3J/cm²(胎体的冲击韧性达到3.3J/cm²,一般可满足锯切要求),硬度每提高1HRB加10分,冲击韧性每提高1J/cm²,加10分,反之扣分。

表4　试验方案及结果

试验号	WC的含量	Fe/Ni比例	663Cu＋其它含量	烧结温度（℃）	保温时间（min）	目标函数		综合评分
						HRB	冲击韧性 J/cm²	
1	1	1	1	1	1	95.63	3.32	46.5
2	1	2	2	2	2	92	3.38	10.6
3	1	3	3	3	3	91.44	5.93	30.7
4	1	4	4	4	4	82.72	3.74	－78.4
5	2	1	2	3	4	98	4.8	85
6	2	2	1	4	3	86.22	5.59	－24.9
7	2	3	4	1	2	94	2.78	24.8
8	2	4	3	2	1	93.88	6.43	60.1
9	3	1	3	4	2	98	8.10	118
10	3	2	4	3	1	82.38	5.15	－67.7
11	3	3	1	2	4	98.5	4.27	83.7
12	3	4	2	1	3	92.67	6.36	97.3
13	4	1	4	2	3	93	2.24	9.4
14	4	2	3	1	4	97	3.17	58.7
15	4	3	2	4	1	93.56	6.14	54
16	4	4	1	3	2	99	3.53	80.3
$Ⅰ_j$	9.4	258.9	185.6	128.3	92.9			
$Ⅱ_j$	145	－23.3	246.9	163.8	233.7			
$Ⅲ_j$	231.3	193.2	267.5	227.3	112.5			
$Ⅳ_j$	202.4	159.3	－111.9	68.7	149			
$1/4Ⅰ_j$	2.4	64.7	46.4	32.08	23.23			
$1/4Ⅱ_j$	36.25	－5.8	61.7	40.95	58.43			
$1/4Ⅲ_j$	57.8	48.3	66.9	56.8	28.13			
$1/4Ⅳ_j$	50.6	39.8	－27.98	17.18	37.25			
R_j	55.4	70.5	94.88	9.62	35.2			

注:表中$Ⅰ_j$、$Ⅱ_j$、$Ⅲ_j$、$Ⅳ_j$(j=1,2,3,4,5)分别表示第j个因素的第1水平、第2水平、第3水平、第4水平的综合评分之和。例$Ⅰ_1$为第1个因素的第1水平之和,$Ⅰ_1=46.5+10.6+30.7-78.4=9.4$;$1/4Ⅰ_j$、$1/4Ⅱ_j$、$1/4Ⅲ_j$、$1/4Ⅳ_j$(j=1,2,3,4,5)分别表示第j个因素的第1水平、第2水平、第3水平、第4水平的综合评分的平均值,例$1/4Ⅰ_1=1/4\times9.4=2.35\doteq2.4$;$R_j$(j=1,2,3,4,5)分别表示第j因素中$1/4Ⅰ_j$、$1/4Ⅱ_j$、$1/4Ⅲ_j$、$1/4Ⅳ_j$的极差,例$R_1=1/4Ⅲ_1-1/4Ⅰ_1=57.8-2.4=55.4$。$R_j$反映了因素j选取的水平变动对指标(综合评分)影响的大小。

4.3　试验结果分析

根据计算结果,可以作出各因素水平对指标的影响趋势,见图1。

据表4、图1,对试验结果作如下分析。

(1)因素与指标的变化规律

WC的含量在5%～15%范围内,目标函数呈上升趋势,到15%以后,开始下降;Fe/Ni比以1:1为好;663－Cu等在30%～50%范

维普资讯 http://www.cqvip.com

围内，目标函数呈上升趋势，到 50% 以后，开始下降；烧结温度在考察的范围内以 920℃ 为佳，太高温度易造成低熔成分偏析，影响机械性能，保温时间以 1.5min 最佳。

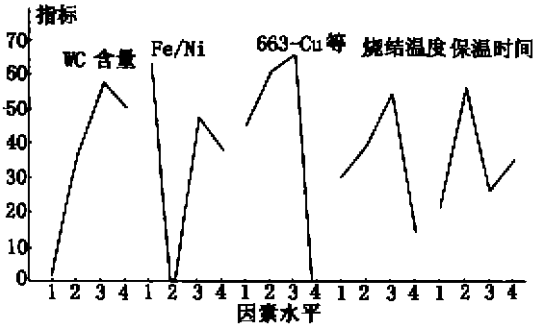

图 1 各因素水平对目标函数的影响趋势

(2)因素影响指标的主次顺序

据表 4 极差值 R 的大小可看出，这 5 个因素对指标的影响从大到小的排列顺序为：

663－Cu 等→Fe/Ni→WC 含量→烧结温度→保温时间

(3)根据岩石选定配方和烧结工艺参数

若综合评分大于零，则该种配方可锯切中硬以上花岗岩；若综合评分小于零，则该种配方不宜锯切中硬花岗石。具体选用配方时，可根据表 1 和表 4 综合选择，如锯切硬花岗岩，则可选用 9 号胎体配方和工艺参数。

5 锯片野外锯切试验

为了检验镀膜金刚石工具中以 Fe 代 Co 的胎体配方的使用效果，本文采用热压—钎焊法制作 Ø300 锯片 10 片，锯切福建 603# 花岗岩（7～8 级花岗岩，压入硬度 3594.2N/mm²）。锯片胎体配方选用 9 号和钴基配方，金刚石采用未镀膜、镀 NiFeB、镀 NiWB、镀 Ti－Cr4 种金刚石。锯齿采用分层式结构，纯合金层所占体积为 16%，锯齿规格和特点见表 5，锯切性能见表 6。

表 5 Ø300 锯齿结构及规格

金刚石类型	配方及工艺参数	锯齿规格	锯齿层数	纯合金层厚	金刚石品级	粒度	浓度（%）	胎体硬度（HRB）
未镀	钴基	40×3.2×7	3	0.5	JR_4	45/50	40	98
未镀	9 号	40×3.2×7	3	0.5	JR_4	45/50	40	98
镀 NiFeB	9 号	40×3.2×7	3	0.5	JR_4	45/50	40	98
镀 NiWB	9 号	40×3.2×7	3	0.5	JR_4	45/50	40	98
镀 Ti-Cr	9 号	40×3.2×7	3	0.5	JR_4	45/50	40	98

表 6 Ø300 金刚石圆锯片的锯切性能

金刚石种类	配方及工艺参数	纯合金层所占体积	金刚石用量（ct）	金刚石利用率（m²/ct）	锯片时效（m²/h）	时效比率	锯片寿命（m²/片）	寿命比率	备注
未镀	钴基	16%	27.82	0.82	1.81	1	23.09	1	无崩刃
未镀	9	16%	27.82	0.75	1.76	0.97	20.87	0.90	无崩刃
镀 NiFeB	9	16%	27.82	0.89	1.92	1.06	24.76	1.08	无崩刃
镀 NiWB	9	16%	27.82	0.91	1.97	1.09	25.32	1.10	无崩刃
镀 Ti-Cr	9	16%	27.82	1.18	2.52	1.39	32.83	1.42	无崩刃

据表 6 可知，采用 9 号配方及工艺参数制作的镀膜金刚石圆锯片超过了 Co 基胎体金刚石锯片的使用效果，时效提高 6%～39%，寿命提高 8%～42%。而采用 9 号配方及工艺参数制作的未镀膜金刚石圆锯片没有达到 Co 基胎体金刚石锯片的锯切性能，时效低 3%，寿命短 10%。

6 结 论

室内研究和野外锯切试验表明：

(1)表 4 中以 Fe 代 Co 的胎体的性能基

（下转第 51 页）

维普资讯 http://www.cqvip.com

它具有一次布极即可进行多装置、多深度数据采集，以及通过求取比值参数能突出异常信息的特点，所以采用高密度电阻率法检测地基注浆效果，结果很理想。

参考文献

1 刘天放，李志聃.矿井地球物理勘探.煤炭工业出版社，1994

2 中国矿业大学物探教研室.新庄孜煤矿选煤厂物探报告，1994

THE HIGH DENSITY RESISTIVITY METHOD USED FOR DETECTING FOUNDATION GROUTING

Yu Jingcun, Li Zhidan

The high density resistivity method was used in detecting foundation grouting in the Xizhuangzi coal mine. The comparison between grouting and ungrouting indicated that the effect was satisfactory. The practice showed that the high density resistivity is an effective geophysical method for reconnaissance of foundation.

Key words high density resistivity, worked - out area, grouting, foundation

第一作者简介：

于景村　男，1966年生，1989年毕业于中国矿业大学测物系应用地球物理专业，1992年在中国矿业大学资源与环境科学学院获硕士学位。现在中国矿业大学资源与环境科学学院读在职博士，主要从事应用地球物理与信息处理教学和科研工作。

通讯地址：江苏省徐州市　中国矿业大学资源与环境科学学院　邮政编码：221008

（上接第36页）

本达到了表1锯切生产的要求；

(2) 采用所研制的以Fe代Co的配方及工艺参数制作的镀膜金刚石圆锯片超过了Co基胎体金刚石圆锯片的锯切性能，建议推广使用；

(3) 要成功地应用Fe基胎体配方，除了其机械性能应满足锯切要求之外，还必须使用镀膜金刚石。

参考文献

1 孟庆辉，李印江，等.磨料磨具技术手册. 北京：兵器工业出版社，1993. 1193～1209

2 袁公昱，方啸虎，王殿江，等.人造金刚石与金刚石工具制造. 长沙：中南工业大学出版社，1992. 97～118

3 段隆臣.新型镀膜金刚石碎岩工具的研制(博士学位论文). 武汉：中国地质大学，1996. 38～51

EXPERIMENTAL RESEARCH ON MATRIX FORMULATE WITH SUBSTITUTE OF Fe FOR Co FOR CLAD DIAMOND TOOLS

Duan Longchen, Yang Kaihua, tang Fenglin

According to the cutting requirements for matrix of diamond saw blade and basic principle of metal material, the experiment on the effect of the basic elements of matrix on its comprehensive performance was conducted after the added reinforcing elements were determined. The experiment indicated that the developed matrix formulate reached the requirements for diamond saw cutting.

Key words diamond saw blade, basic elements of matrix, comprehensive performance of matrix

第一作者简介：

段隆臣　男，1967年生。1989年毕业于中国地质大学探矿工程专业，1997年在中国地质大学(武汉)研究生院获博士学位。现任中国地质大学勘建学院讲师，主要从事碎岩工具的研究和教学工作

通讯地址：湖北省武汉市　中国地质大学勘建学院　邮政编码：430074