

纳米镍粉对孕镶金刚石切削工具胎体性能的影响

高 科, 徐小健, 谢晓波, 李 梦, 董 博, 孙 阳, 张绪良

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘 要:为减小孕镶金刚石切削工具的烧结温度对单晶金刚石性能的影响和改善切削工具胎体性能,降低烧结温度和优选胎体配方材料是很好的解决方法。在切削工具的胎体中加入适量纳米镍粉,通过对制备试样的硬度、强度和耐磨性测试及微观特征分析,综合评价该方法的可行性。结果表明:对于 WC 基胎体,含有纳米镍粉的胎体较不含纳米镍粉的胎体 HRC 提高 11.9%,抗弯强度提高 18.4%,耐磨性提高 44.5%;对于 Fe 基胎体,含有纳米镍粉的胎体较不含纳米镍粉的胎体 HRC 提高 19.5%,抗弯强度提高 0.2%,耐磨性提高 33.3%。既减小了温度对金刚石的影响,又提高了切削工具整体性能。

关键词:纳米镍粉;金刚石;切削工具;胎体

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)08-0081-04

Effect of Nano-nickel Powder on the Performance of Diamond Impregnated Cutting Tools/GAO Ke, XU Xiao-jian, XIE Xiao-bo, LI Meng, DONG Bo, SUN Yang, ZHANG Xu-liang (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: The sintering temperature being lowered and matrix material being selected in the manufacturing process are the good way to reduce the effect of sintering temperature on the properties of diamond and improve matrix performance of cutting tools. Diamond impregnated matrix samples with an appropriate amount of nano-nickel powder were prepared by the vacuum hot-pressed. The hardness, strength, friction properties and microstructure were investigated in order to evaluate the feasibility of this method. The results show that for WC-based diamond impregnated matrix, HRC of the matrix containing nano-nickel powder is increased by 11.9%, bending strength by 18.4% and abrasion ratio by 44.5% than those of the matrix without nano-nickel powder respectively; and for Fe-based diamond impregnated matrix, HRC of the matrix containing nano-nickel powder is increased by 19.5%, bending strength by 0.2%, and abrasion ratio by 33.3% than those of the matrix without nano-nickel powder respectively. So adding nano-nickel powder to the matrix can both reduce the effect of sintering temperature on diamond and improve cutting performance.

Key words: nano-nickel powder; diamond; cutting tool; matrix

0 引言

对孕镶金刚石切削工具而言,金刚石及其包镶用胎体材料的性能是影响其使用效果的 2 个主要因素。金刚石受温度的负面影响很大,受热温度越高,其性能下降越快,当超过 850 ℃ 时,下降趋势更加明显,切削岩石的效果越差^[5],当达到某一值时金刚石将发生严重碳化而失效。因此,低温烧结对于金刚石保持优良性能十分必要。而低温烧结要求对应有低温合金的胎体材料配方,才能达到性能稳定或提高的目的。当前研究多以改变现有胎体配方选用低温合金材料达到降低烧结温度的目的,或以选用高品质高热稳定金刚石材料来减轻温度对金刚石的负面影响。然而,以上方法往往会导致烧结温度降

低、胎体性能下降,或者选用高品质金刚石导致切削工具成本增加、性价比下降。

本文将在原有的 WC 基和 Fe 基胎体材料配方的基础上,通过改变配方中某一材料的粒度为纳米级,即将配方中部分或全部镍粉的粒度改为纳米级,利用纳米镍粉具有的低熔解度等特性来降低胎体的合金化烧结温度,此外利用纳米镍具有的高扩散性等特性提高胎体整体性能,一举两得。这一结论将通过大量的试验和测试数据得以佐证。

1 试验方案及切削工具试样的制备

1.1 试验方案

以常规胎体的理论烧结温度为基础,设置多个

收稿日期:2014-07-05;修回日期:2014-07-13

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“深部钻探仿生耦合钻具系统及制造工艺”(12120114055001)

作者简介:高科(1977-),男(汉族),内蒙古乌兰察布人,吉林大学建设工程学院石油工程系副主任、副教授,地质工程专业,博士,从事超硬材料钻探机具、仿生工程学研究及教学工作,吉林省长春市西民主大街 938 号,47422953@qq.com;徐小健(1988-),女(汉族),安徽安庆人,吉林大学在读硕士研究生,地质工程专业,从事钻探机具及超硬材料方面的研究工作,xuxj12@jlu.edu.cn.com。

含纳米镍粉胎体试样的烧结温度,通过测试结果优选出合理烧结温度。WC 基和 Fe 基胎体基础配方见表 1,为了减少试验次数,采用试验最优化法,WC 基和 Fe 基胎体材料均选用 2 因素(烧结温度和纳米镍含量)3 水平(烧结温度和纳米镍含量选择 3 个数值)试验方案,选用正交表 L9(3²),因素水平表见表 2,试验方案见表 3。

表 1 WC 基和 Fe 基胎体基础配方

胎体	材料名称	质量分数/%
WC 基	WC	40
	YG6	15
	Ni	5
	Mn	5
	Co	0
	ZQSn663	35
Fe 基	Fe	70
	Zn	12
	Ni	2
	Mn	1
	ZQSn663	15

表 2 L9(3²) 因素水平

WC 基		Fe 基	
A 烧结温度/℃	B 纳米镍含量/%	A 烧结温度/℃	B 纳米镍含量/%
1 (A1)980	(B1)0	(A1)970	(B1)0
2 (A2)930	(B2)2.5	(A2)920	(B2)1
3 (A3)880	(B3)5	(A3)870	(B3)2

表 3 L9(3²) 试验方案

试验号	A 烧结温度/℃	B 纳米镍含量/%	试验号	A 烧结温度/℃	B 纳米镍含量/%
1	(1)	(1)	6	(2)	(3)
2	(1)	(2)	7	(3)	(1)
3	(1)	(3)	8	(3)	(2)
4	(2)	(1)	9	(3)	(3)
5	(2)	(2)			

1.2 结构设计

胎体试样尺寸为(长×宽×高)38 mm×8 mm×5 mm(图 1)。

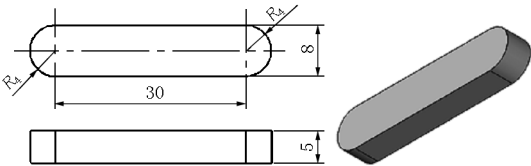


图 1 试样工程图

1.3 烧结工艺

采用真空热压烧结法,胎体配方压强值为 WC 基 15 MPa 和 Fe 基 12 MPa,计算如下:

$$F = PS$$

式中: F ——试件所受压力; P ——作用于试件上的压强值; S ——试件上下底面积,2.9 cm²。

计算加在试样上的压力 WC 为 4263 N,Fe 基为 3410 N。烧结温度的确定应以粘结相的熔点特别是粘结相与所配混的其他相的共晶温度为依据,并使之降到尽可能低^[2]。胎体各组分采用湿式混料法混合均匀后,放入石墨模具中,80~100℃干燥 30 min。试样采用苏州工业园区腾龙机械有限公司生产的 TLZK2001 真空热压烧结机进行热压烧结制备。具体参数如下:限位加压,均匀升温,升温时间 2 min,保温、保压时间 5 min。烧制所得试样如图 2 所示。

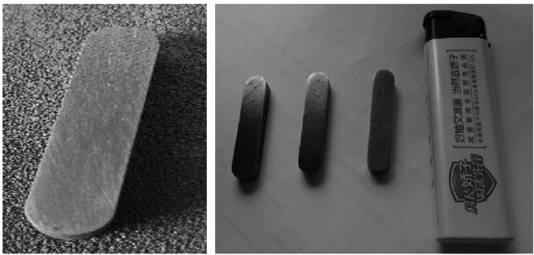


图 2 试样实物

2 测试与微观形貌分析

2.1 测试

根据研究需要,对胎体试样进行硬度、抗弯强度和耐磨性测试。

2.1.1 硬度测试

采用 HRS-150 数显洛氏硬度计,金刚石压头实测精度 $\alpha = 120^{\circ} - 4'$, $SR = 0.200$ mm。测试硬度前,试样的测试面要在抛光机上用 2000 目以细的砂纸进行抛光处理,在每个试样的测试面上测试 5 个点,取平均值为其硬度值(表 4),图 3 为试样硬度曲线图。

表 4 不同比例纳米镍在不同温度下胎体材料的 HRC 数值

WC 基(HRC)				Fe 基(HRC)			
温度 /℃	纳米镍加量/%			温度 /℃	纳米镍加量/%		
	0	2.5	5		0	1	2
980	33.40	31.40	34.87	970	8.95	10.06	10.15
930	38.41	38.99	39.33	920	11.47	12.68	12.73
880	32.68	36.53	37.71	870	12.57	14.22	15.81
830	26.08	30.75	34.23	820	11.48	13.60	14.44

2.1.2 抗弯强度测试

抗弯强度是在电子万能实验机上完成测试,采取三点弯曲法,跨距 24 mm,加载速度 0.4 mm/min。每个试样测试一个数据,每种胎体材料配方的抗弯强度测试值为 3 个数据的平均值(表 5),图 4 为试样抗弯强度曲线图。

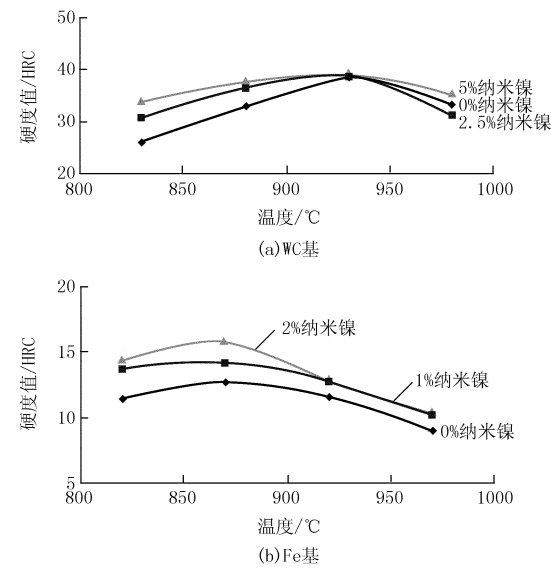


图3 不同比例纳米镍在不同温度下对胎体材料 HRC 曲线

表5 不同比例纳米镍在不同烧结温度下胎体材料的抗弯强度

WC 基			Fe 基		
温度 /℃	纳米镍加量/%		温度 /℃	纳米镍加量/%	
	0	2.5	0	1	2
980	585.94	558.23	970	708.90	799.99
930	583.39	677.55	920	965.96	966.90
880	646.69	643.88	870	988.73	955.09
830	397.05	466.84	820	994.73	951.83

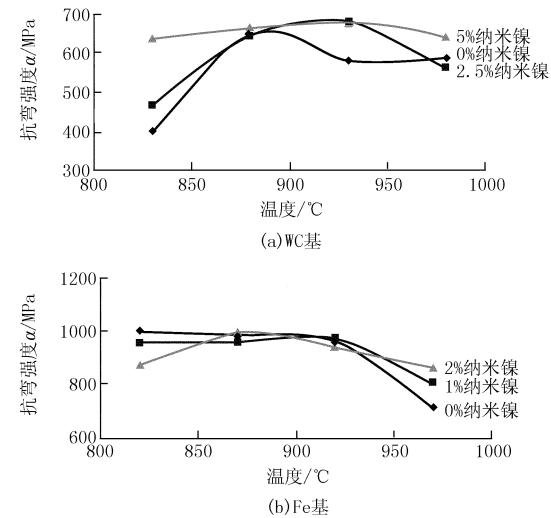


图4 不同比例纳米镍在不同烧结温度下胎体材料抗弯强度曲线

2.1.3 耐磨性测试

在规定的压力、转速和时间条件下使材料试块与 80 目粒度的专用碳化硅砂轮平行对磨,以砂轮的磨耗量 M_s (g) 和摩擦材料的磨耗量 M_j (g) 之比值,也称磨耗比 (E 值),即 $E = M_s/M_j$ 。试样的耐磨性测试在 DHM-2 型磨耗比测定仪试验机上进行。试样磨损前后均经工业酒精清洗,冷风吹干,砂轮磨损前后用纯净水清洗并置于烘箱 100℃ 下烘干 30

min。然后,分别称量试样和砂轮的磨损量。表 6、表 7 为不同比例纳米镍在不同烧结温度下的胎体材料磨耗比值,图 5 为胎体材料磨耗比曲线。

表6 不同比例纳米镍在不同烧结温度下的 WC 基胎体材料磨耗比数值

序号	砂轮硬度	砂轮质量/g		试块质量/g		磨耗比 E
		磨前	磨后	磨前	磨后	
WC980 + 5% Ni	3.7	250.25	118.93	131.32	8.204	7.852
WC980 + 0% Ni	3.7	253.76	178.32	75.44	7.558	7.273
WC930 + 5% Ni	3.7	255.20	172.98	82.22	9.822	9.577
WC930 + 0% Ni	3.7	254.60	178.54	76.06	7.925	7.604
WC880 + 5% Ni	3.7	250.17	139.12	111.05	7.890	7.561
WC880 + 0% Ni	3.7	253.85	175.90	77.95	8.404	8.055

表7 不同比例纳米镍在不同烧结温度下的 Fe 基胎体材料磨耗比数值

序号	砂轮硬度	砂轮质量/g		试块质量/g		磨耗比 E
		磨前	磨后	磨前	磨后	
Fe970 + 2% Ni	3.7	248.38	201.17	47.21	5.190	4.994
Fe970 + 0% Ni	3.7	250.22	204.95	45.273	5.659	5.422
Fe920 + 2% Ni	3.7	253.26	192.02	61.24	5.238	5.009
Fe920 + 0% Ni	3.7	254.04	212.12	41.917	5.318	5.104
Fe870 + 2% Ni	3.7	253.50	163.72	89.78	5.97	5.651
Fe870 + 0% Ni	3.7	251.65	204.84	46.807	5.266	5.036

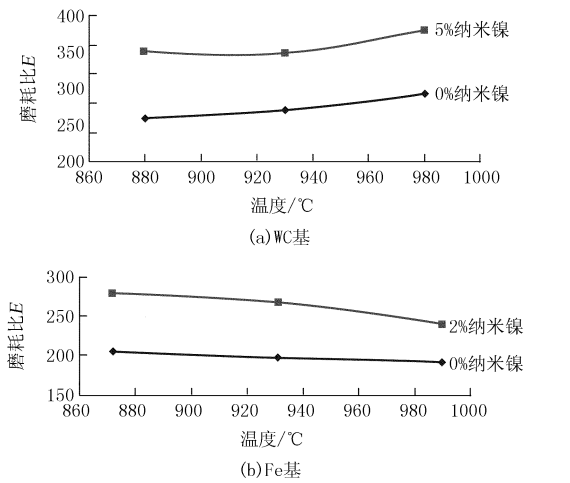


图5 不同比例纳米镍在不同烧结温度下的胎体材料磨耗比曲线

2.2 试样的显微形貌

测试完抗弯强度后,试样断面胎体与金刚石颗粒的结合情况清晰可见。分别选取含不同比例纳米镍粉的 WC 基及 Fe 基孕镶金刚石试样断面,通过体视显微镜检测其显微形貌。表 7、表 8 分别是 WC 基与 Fe 基胎体试块的断面形貌。

3 结果分析

(1) 试样 HRC 硬度测试数据分析:WC 基胎体材料烧结温度在 930℃ 时 HRC 值最高,含 5% 纳米镍粉

表7 WC基钻头胎体含0%及5%纳米镍时
3种烧结温度后断面显微

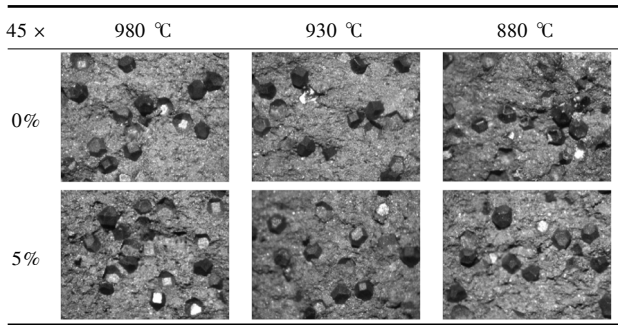
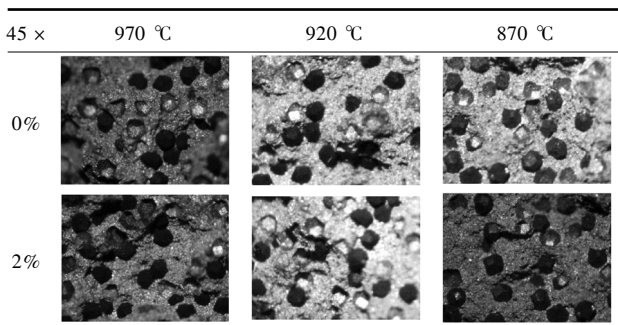


表8 Fe基钻头胎体含0%及2%纳米镍时
3种烧结温度后断面显微



的试样烧结温度为870℃时的HRC值与不含纳米镍粉930℃时的HRC值相近;Fe基胎体材料烧结温度在870℃时HRC值最高,含5%纳米镍粉试样的HRC值较不含纳米镍粉试样的HRC值提高19.5%。

(2)试样抗弯强度测试数据分析:WC基胎体材料烧结温度在930℃时抗弯强度值最高,含5%纳米镍粉的试样烧结温度为870℃时的抗弯强度值与不含纳米镍粉930℃时的抗弯强度值相近;纳米镍粉对Fe基胎体材料的抗弯强度影响不大。

(3)耐磨性测试:在各个烧结温度下,无论是WC基还是Fe基试样,含纳米镍粉的磨耗比均比不含纳米镍粉高,提高33.3%~44.5%。含5%纳米镍粉的试样的烧结温度在880℃时磨耗比较不含纳米镍粉试样烧结温度在980℃时的高出27.9%。

(4)显微形貌:WC基中的金刚石没有受影响,而Fe基中的金刚石有明显热损伤现象,且热损伤现象最严重的是970℃温度下。这是因为在高温下,铁、镍与金刚石的亲和力很强,所以即使在远低于其碳化临界温度时金刚石也会受到热损伤^[6]。

4 结论

对于WC基和Fe基孕镶金刚石切削工具胎体材料而言,在保证硬度、强度值相近前提下,含有纳米镍粉胎体的烧结温度可降低60℃,耐磨性提高33.3%以上。进一步佐证,纳米镍粉既能够降低胎体的烧结温度,又可以提高胎体的力学性能和耐磨性。

参考文献:

- [1] 李子章,邓伟,杨凯华.热压铁基孕镶金刚石钻头的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):94-96.
- [2] 李晓苗.热压温度烧结原则及低温活化烧结[J].地质与勘探,1999,35(1):57-64.
- [3] 甄春刚.金刚石浓度、粒度和强度对锯片切割性能的影响[J].超硬材料,2009,21(5):28-31.
- [4] 侯传彬,郭铁峰,张祖培,等.对我国金刚石钻头胎体经典配方的理论优化和建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(8):58-59.
- [5] 高科.孕镶金刚石仿生钻头的研究[D].吉林长春:吉林大学,2006.
- [6] 李世忠.钻探工艺学(上册)[M].北京:地质出版社,1992.
- [7] 马银龙,孙友宏,高科,等.热压碳化钨基复合胎体材料性能试验[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(1):207-211.
- [8] Gao Ke, Sun Youhong, Ren Luquan. Design and Analysis of Ternary Coupling Bionic Bits[J]. Journal of Bionic Engineering, 2008(9):53-59.
- [9] 刘宝昌,张祖培,孙友宏.纳米材料及其在碎岩工具材料中的应用前景[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2003,(S1):272-275.
- [10] Anon. Diamond tools enter Iron Age. Metal Powder Report, December, 1997:10-12.
- [11] H. Sumiya S. Satoh. Synthesis of Polycrystalline Diamond with New Non-Metallic Catalyst under High Pressure and High Temperature. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 1999(17):345-350.
- [12] RIX: A revolution in the diamond tool industry. The Korea Post News and Business, 2005, 17(3).
- [13] T. T. Shen, D. H. Xiao, X. Q. Ou, M. Song, Y. H. He, N. Lin, D. F. Zhang. Journal of Alloys and Compounds, 2011, 509, 1236-1243.
- [14] 章文娇,杨凯华,段隆臣.WC基对金刚石钻头镍基钎料胎体性能的影响[J].粉末冶金材料科学与工程,2011,16(6):881-885.
- [15] 杨凯华,杨昌锐,张绍和.弱包镶金刚石钻头钻进坚硬致密岩层的研究[J].探矿工程,2001,(S1):251-255.
- [16] 汤凤林,杨凯华,邹庆华,等.金刚石碎岩工具胎体材料添加稀土元素的试验研究[J].探矿工程,2001,(1):45-48.
- [17] 孙毓超,宋月清.金刚石工具制造理论与实践[M].河南郑州:郑州大学出版社,2005.
- [18] 韦统彬,戴秋莲.烧结工艺对铁基胎体合金化程度影响的研究[J].金刚石与磨料磨具工程,2010,30(1):10-15.