

超细 FeCoCu 粉末在金刚石钻头中的试验研究

李俊萍^{1,2}, 胡立^{1,2}, 唐治建^{1,2}, 邓伟^{1,2}

(1.中国地质科学院探矿工艺研究所,四川成都 611734; 2.中国地质调查局地质灾害防治技术中心,四川成都 611734)

摘要:文章介绍了超细 FeCoCu 预合金粉末应用于金刚石钻头胎体中的试验研究。通过基础性试验测试表明:在 663Cu 含量为 30%的前提下,在金刚石钻头胎体组成成分中添加 FeCoCu 预合金粉末,通过调节其与 WC 粉末的配比关系,能够有效地调节钻头胎体硬度,适应不同的地层。通过回归分析得到了胎体硬度与 FeCoCu 粉末加量的数学关系式,由此关系式可预测胎体硬度或计算 FeCoCu 粉末加量。经过野外实际钻进试验证明:添加了 FeCoCu 粉末的金刚石钻头胎体综合性能具有较大的提高,为后续钻头耐磨性研究提供了经验积累。

关键词:FeCoCu;热压钻头;预合金粉末;胎体硬度;回归分析

中图分类号:P634.4⁺¹ **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)08-0019-04

Experimental Study on Ultrafine Pre-alloy Powder FeCoCu Used in Diamond Bits/LI Jun-ping^{1,2}, HU Li^{1,2}, TANG Zhi-jian^{1,2}, DENG Wei^{1,2} (1.Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: This paper introduces the experimental study on the application of ultrafine FeCoCu pre-alloy powder in the matrix of diamond bits. According to the experimental data, with 663Cu contents of 30%, adding FeCoCu pre-alloy powder to the composition of the diamond bit matrix and by adjusting the proportion of FeCoCu powder and WC powder, the hardness of the diamond bit matrix can be effectively adjusted to adapt to different strata. Through the regression analysis, the mathematical relationship between the matrix hardness and FeCoCu contents is obtained, by which, the matrix hardness can be predicted and FeCoCu dosage also can be calculated. The actual drilling tests in field show that the comprehensive performance of the diamond bits matrix with FeCoCu pre-alloy powder is significantly improved, this experimental study provides experiences for further research on wear resistance of diamond bits.

Key words: FeCoCu; hot-pressing bit; pre-alloy powder; matrix hardness; regression analysis

0 引言

金刚石钻头胎体由骨架材料和粘结材料组成,胎体材料通常采用钨钴类粉末作为骨架材料、铜锡锌镍等作为粘结材料进行机械球磨混合。钻头性能的优劣除了受金刚石、胎体骨架材料和粘结材料本身性质的影响外,金刚石与粘结材料间的结合状态对工具性能也有重要影响^[1]。胎体材料中粘结材料的主要作用是改善骨架材料的性能以及胎体材料对金刚石的润湿性,实现胎体对金刚石的有力包镶,从而提高金刚石钻头综合性能。但是粘结材料的各种单质粉末在保存和烧结过程中,均有不同程度的氧化,包括 Co 粉、Mn 粉等。金属氧化物的熔点一般

都高于其单质粉的熔点。因此,在正常烧结温度下,粘结材料往往存在烧结不充分的现象,这种现象不仅使钻头胎体液相数量相对减少,而且氧化物本身还直接影响粘结材料对骨架材料、金刚石的粘结性和润湿性,最终影响钻头烧结质量。

国外学者对粘结材料性能已做了大量研究^[2-7]。在国内,自预合金粉末研制成功后,普遍使用预合金粉末来提高金刚石工具的综合性能^[8-11],其中超细预合金粉末在金刚石工具胎体中的应用研究也取得了较好的应用效果,其应用也越来越广泛^[12-14]。超细预合金粉末具有良好的烧结性能,与单质粉末相比,具有更低的熔点,不仅可以降低烧结

收稿日期:2018-07-01

基金项目:国土资源部深部地质钻探技术重点实验室 2017 年度开放课题项目“基于 Fe-Co-Cu 多元化粘结材料的金刚石钻头研究”(编号:K201704);中国地质调查局地质调查项目“油气田勘查区砂岩型铀矿调查与勘查示范”(编号:DD20179103)

作者简介:李俊萍,女,汉族,1986 年生,硕士,长期从事钻探器具设计与研发工作,四川省成都市郫都区现代工业港(北区)港华路 139 号,lijunping_xp@163.com。

温度,减少烧结过程对金刚石的热损伤,降低金刚石颗粒的石墨化,还可提高胎体对金刚石的把持力,从而提高金刚石工具的使用寿命和效率。

在前期的工作基础上,对于现有的胎体配方,加入 FeCoCu 超细预合金粉末,调整胎体配方,进行了一些试验性研究,达到改善钻头胎体性能的目的,为设计金刚石钻头提供一些参考。

1 超细预合金粉末的选择与试验

1.1 超细预合金粉末的选择

市场上预合金粉末种类很多,经过多轮试验筛选,其中 FeCoCu 粉末对提高钻头性能效果比较显著。因此,针对 FeCoCu 粉末进行了进一步的试验研究。

FeCoCu 粉末的主要物理性质为:氧含量 < 0.8%,费氏粒度 1.5~4.5 μm ,激光中位径 10~20 μm ,松装密度 1.1~1.7 g/cm^3 ,理论密度 8.36 g/cm^3 。

FeCoCu 预合金粉末与传统钻头胎体粉末中的单质粉对比,由于每颗 FeCoCu 预合金粉末颗粒均含有各组成成分、合金化充分,均匀性更好,能够有效避免成分偏析,另一方面,由于其粉末颗粒粒度更细,胎体粉末的热压烧结温度低,不仅避免了高温对金刚石颗粒的热损伤,并且起到了节能降耗的作用,一定程度上降低了钻头的生产成本。

1.2 室内试验与分析

试验共分为 2 个阶段,第一阶段的试验目的主要是验证 FeCoCu 粉末能否完全替代 663Cu 粉末,作为粘结材料。在已有胎体配方基础上进行验证性试验,如表 1 所示,WC 粉末具有较好的耐磨性,由于其高硬度、高强度的特性,被广泛的应用于金刚石工具中,WC 粉末作为骨架材料,提高胎体的硬度和耐磨性,提高钻头的钻进寿命;FeCoCu 预合金粉和 663Cu 粉末作为粘结材料,包镶金刚石,保证金刚石正常工作;适量的镍等粉末能在烧结过程中与铜元

表 1 胎体配方 %

| 编号 | WC | FeCoCu | 663Cu | Ni、Mn 等 |
|-----|----|--------|-------|---------|
| 1-1 | 38 | 0 | 40 | 22 |
| 1-2 | 38 | 10 | 30 | 22 |
| 1-3 | 38 | 20 | 20 | 22 |
| 1-4 | 38 | 30 | 10 | 22 |
| 1-5 | 38 | 40 | 0 | 22 |

素形成固溶体,起到固溶强化作用,并且能防止高温时液相的流失。

WC 粉末含量为常量,FeCoCu 预合金粉末和 663Cu 粉末的添加量占配方总量的 40%且呈梯度变化,余量为 Ni、Mn 等粉末。

将各配方进行混料后,分别装模烧结。烧结工艺为:采用中频热压烧结机进行烧结,烧结压力 18 MPa,烧结温度为 950 $^{\circ}\text{C}$,保温时间为 5 min。对烧结后的胎体试样进行洛氏硬度测试。采用 HR-150A 型洛氏硬度计,测 3 点取平均值,具体试验值如图 1 所示。

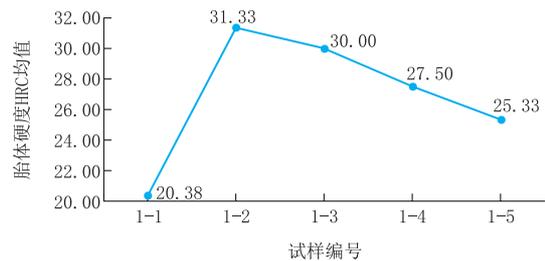


图 1 硬度统计图

通过图 1 曲线数据反映:从 1-1 胎体至 1-5 胎体,663Cu 粘结材料从 40%递减到 0,胎体硬度并没有随着 663Cu 粘结材料的减少而升高,而是呈现出先升高后降低的趋势。FeCoCu 粉末添加量从 10%递增到 40%,胎体硬度值并没有较大幅度的变化,最大变化梯度值仅 2.5。

从上述分析可以推断:FeCoCu 粉末并不能完全替代 663Cu 粉末作为热压钻头胎体的粘结材料。根据图上数据可以看出,663Cu 含量至少达到 30%以上,对于 FeCoCu 粉末的添加,胎体硬度才有相应的反馈。为了验证这个规律,进行了第二阶段的试验,其主要目的是验证当 663Cu 粉末达到 30%以上,胎体硬度会随着 FeCoCu 粉末添加量的变化呈一定趋势的变化。在第一轮胎体配方的基础上进行了调整,第二轮的胎体配方如表 2 所示。663Cu 粉末的含量为常量,以 FeCoCu 粉末的添加量作为自变量,WC 粉末含量作为因变量。

如图 2 所示为第二轮烧结胎体试样的洛氏硬度 3 点测试的平均值。

从图 2、表 2 中可以发现,从 2-5 胎体到 2-1 胎体,随着 FeCoCu 预合金粉末含量按梯度增加,WC 骨架材料含量随之减少,胎体硬度随之降低。如图 2 所示,当 663Cu 含量达到 30%时,钻头胎体硬度

表 2 胎体配方 %

| 编号 | WC | FeCoCu | 663Cu | Ni、Mn 等 |
|-----|------|--------|-------|---------|
| 2-1 | 0.0 | 55.0 | 30 | 15 |
| 2-2 | 16.5 | 38.5 | 30 | 15 |
| 2-3 | 27.5 | 27.5 | 30 | 15 |
| 2-4 | 38.5 | 16.5 | 30 | 15 |
| 2-5 | 55.0 | 0.0 | 30 | 15 |
| 3-1 | 0.0 | 50.0 | 35 | 15 |
| 3-3 | 15.0 | 35.0 | 35 | 15 |
| 3-3 | 25.0 | 25.0 | 35 | 15 |
| 3-4 | 35.0 | 15.0 | 35 | 15 |
| 3-5 | 50.0 | 0.0 | 35 | 15 |

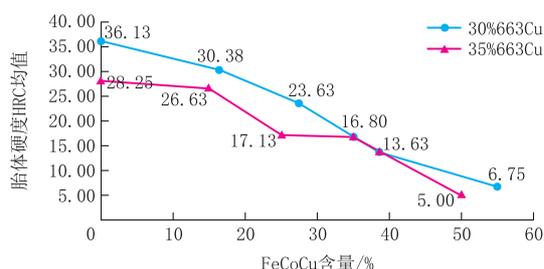


图 2 FeCoCu 含量与胎体硬度值曲线

随着 FeCoCu 粉末含量的变化有明显的梯度变化, 梯度为 5~7, 最大达到 10。

编号 3-5 胎体至 3-1 胎体, 663Cu 含量为 35%, 从图 2 曲线图可以看出, 随着 FeCoCu 粉末含量的梯度增加, 钻头胎体硬度有随之下降的趋势, 但各个配方案之间的胎体硬度变化值没有明显的区间梯度。3-5 胎体和 3-4 胎体硬度差值为 1.62, 3-3 胎体和 3-2 胎体硬度差值仅为 0.33。

试验表明: 663Cu 含量达到 30% 是最优的基础含量, 在此基础上通过调节 WC 粉末和 FeCoCu 粉末之间的配比关系, 能够在更大范围内调节钻头胎体硬度, 适应不同的地层钻进要求。

1.3 回归拟合

为了更好地分析 FeCoCu 预合金粉末与胎体硬度之间逻辑关系, 采用 SPSS 软件, 将试验数据进行了回归分析, 选取了线性模型、二次曲线模型和三次曲线模型进行拟合。采用最小二乘法进行参数估计, R 平方为回归平方和与总离差平方和的比值, 表示回归方程中自变量 FeCoCu 预合金粉末对因变量胎体粉末的解释程度, 这一比值越大越好, 模型越精确, 回归效果越显著。 R 平方介于 0~1, 越接近 1, 回归拟合效果越好。根据表 3 回归分析结果中 R 平方值表明: 三次曲线模型的拟合效果最好。3 种曲线模型的拟合效果如图 3 所示。

表 3 回归分析统计

| 拟合模型类型 | R^2 |
|--------|-------|
| 线性模型 | 0.975 |
| 二次曲线模型 | 0.978 |
| 三次曲线模型 | 0.998 |

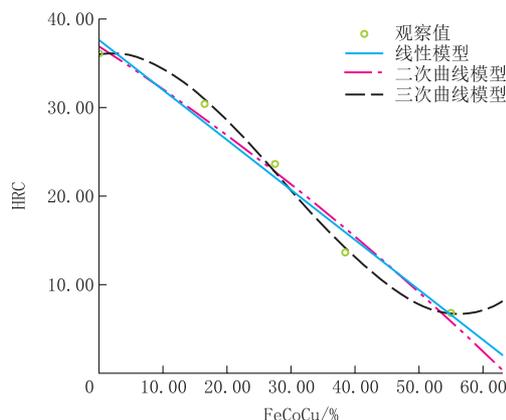


图 3 3 种曲线模型与试验数值的拟合效果图

回归分析的拟合方程为:

$$Y = 0.116X - 0.032X^2 + 36.018 \quad (1)$$

式中: Y ——胎体硬度 HRC 值; X ——FeCoCu 粉末添加量。

以式(1)为依据, 可以通过 FeCoCu 预合金粉末的添加量, 预测钻头胎体硬度理论值, 为后续胎体耐磨性的研究提供一定的参考依据。

2 钻头试验

江苏省连云港市钻孔钻遇坚硬致密黑云母花岗岩(见图 4), 在钻进施工中不进尺。



图 4 花岗岩岩心

钻头设计思路: 针对坚硬致密黑云母花岗岩, 钻头胎体硬度应较高并具有良好的耐磨性, 保证钻头具有较高的寿命。在试验的基础上, 添加 FeCoCu 预合金粉末, 调节钻头胎体硬度为 HRC30~35, 主要采用 40~70 目的混合金刚石, 钻头规格为 S76/46, 如图 5 所示。细粒金刚石在单位层面上分布的



图5 钻进后的钻头

颗粒数多,有利于提高钻头的耐磨性,粗颗粒金刚石有利于提高金刚石破岩效率,保证钻头具有较好的钻进效率和寿命^[16]。通过野外钻进数据表明,平均钻进速度约为 2.6 m/h,钻头寿命约 40 m,比其他厂家的钻头提高了 22%,降低了施工成本。

3 结论

(1)在已有配方的基础上,通过试验表明 Fe-CoCu 预合金粉末不能完全替代 663Cu 粉末作为热压钻头的粘结材料。

(2)在 663Cu 含量为 30%的前提下,在金刚石钻头胎体组成成分中添加 FeCoCu 预合金粉末,通过调节与 WC 粉末的配比关系,能够有效地调节钻头胎体硬度,适应不同的地层。

(3)通过回归分析,胎体硬度 Y 值与 FeCoCu 粉末添加量 X 值存在数学关系为: $Y = 0.116X - 0.032X^2 + 36.018$,可以通过回归方程预测、验证各配方的胎体硬度,为实际生产提供参考。

(4)添加 FeCoCu 预合金粉末的金刚石钻头在野外试验应用中获得了较好的试验效果,平均钻进速度约为 2.6 m/h,钻头寿命约 40 m,比其他厂家的钻头提高了 22%。

(5)本次试验只是一个初步性试验,为此类胎体配方的后续研究提供一些经验积累。

参考文献:

- [1] 汤凤林, A.Γ.加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2009.
- [2] Tillmann Wolfgang, Ferreira Manuel, Steffen. Carbon reactivity of binder metals in diamond-metal composites-Characterization by scanning electron microscopy and X-ray diffraction[J]. Diamond and Related Materials, 2013, 38: 118-123.
- [3] Oliveira H C P, Cabral S C, Guimarães R S, et al. Is Ni a good substitute for Co in PM diamond cutting tools[J]. Materials Science Forum, 2010, (3): 363-369.
- [4] Sidorenko D A, Zaitsev A A, Kurbatkina V V. Influence of additives of carbon nanotubes on the structure and properties of metal binders for a diamond tool[J]. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2013, (11): 527-531.
- [5] Sidorenko D A, Zaitsev A A, Kirichenko A N, et al. Modification of the Fe-Cu-Co-Sn-P metal matrix with various forms of carbon nanomaterials[J]. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2015, 55(6): 639-644.
- [6] Zaitsev A A, Sidorenko D A, Levashov E A. Development and application of the Cu-Ni-Fe-Sn-based dispersion-hardened bond for cutting tools of super hard materials[J]. Journal of Superhard Materials, 2012, 34(4): 270-280.
- [7] Clark I E, Kamphuis B J. Cobaltite HDR - a new prealloyed matrix powder for diamond construction tools[J]. Industrial Diamond Review, 2003, (3): 177-182.
- [8] 徐浩翔, 麻洪秋, 罗锡裕, 等. 雾化预合金胎体粉末的制备及其在金刚石工具中的应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2004, (1): 45-48.
- [9] 宋月清, 甘长炎, 夏志华, 等. 预合金粉末在金刚石工具中的应用研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 1997, (1): 2-7.
- [10] 陈哲, 刘一波, 赵万林, 等. 超细预合金粉末在金刚石工具中的性能研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(8): 61-64.
- [11] 向波, 谢志刚, 贺跃辉, 等. 金刚石制品胎体用预合金粉的制备[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007, 34(2): 34-38.
- [12] 韩娟, 刘少华, 陈哲, 等. 超细 W-25Cu 粉末在金刚石工具中的应用研究[J]. 粉末冶金工业, 2013, 23(1): 23-31.
- [13] 刘少华, 陈哲, 刘一波, 等. 超细钨铜合金粉末在金刚石工具中的应用研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2010, 30(6): 70-73.
- [14] 李成栋, 徐士新. 超细 CuSn20 合金粉末的烧结及性能研究[J]. 青岛科技大学学报, 2012, 33(6): 564-567.
- [15] <http://www.grip.com/html/20160122142.html>[EB/OL].
- [16] 朱恒银, 王强, 杨展, 等. 深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2014: 20.