

仿生高效切削齿试验研究

高科¹, 唐琼琼¹, 孙阳², 谢晓波¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:在仿生高效耐磨理论的指导下,以鼯鼠爪趾为仿生原型,引入了其经长期进化而具有的高效、耐磨的特性。选用 CVD 多晶金刚石为切削齿的切削单元,采用真空热压烧结工艺制备仿生高效切削齿,并将其与常规 PDC 齿、仿生 PDC 齿的耐磨性和切削效率进行对比试验,结果显示:仿生高效切削齿的耐磨性较常规 PDC 齿提高 23%;切削效率较常规 PDC 齿提高 1.49 倍,较仿生 PDC 齿提高 48%。初步证明了仿生高效切削齿工艺的可行性,为下一步高效切削钻头的研究奠定了坚实的基础。

关键词:仿生;鼯鼠爪趾;切削齿;耐磨性

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)08-0069-03

Experimental Study on Efficient Bionic Cutting Teeth/GAO Ke¹, TANG Qiong-qiong¹, SUN Yang², XIE Xiao-bo¹ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Xi'an Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Under the guidance of the bionic theory, taking mole claws as bionic prototype, the high efficiency and wear resistance properties obtained from long-term evolution are introduced. CVD polycrystalline diamond cutters were selected as cutting unit and efficient bionic cutting teeth were prepared with vacuum hot pressing sintering process. By the contrast tests, the results reveal that the wear resistance of efficient bionic cutting teeth is increased by 23% compared with the conventional PDC teeth; the cutting efficiency is 1.49 times that of the conventional PDC teeth and 48% higher than bionic PDC teeth. It preliminarily proves the feasibility of the process of efficient bionic cutting teeth, which lays a solid foundation for further study on efficient cutting bit.

Key words: bionic; mole claws; cutting teeth; wear resistance

0 引言

20 世纪 70 年代以来,PDC 钻头已被广泛应用于石油、地质勘探等钻探领域。据统计,2010 年全球钻头消耗量 65% 左右为 PDC 钻头。PDC 钻头以切削破碎岩石为主,由于 PDC 有较高的脆性,在较为坚硬的地层(8 级以上),PDC 钻头的钻进效率就会明显地降低,特别是 PDC 齿本身物理特性对钻头钻进效率影响最为显著。虽然如今 PDC 齿质量有所提高,但仍然参差不齐,价格差距较大,主要有以下问题:一是专用设备价格昂贵,生产效率低;二是制备工艺技术控制难,成本高。为了提高 PDC 钻头的适用范围,除了改变钻头结构、完善钻井工艺外,改善复合片结构、制造工艺,提高 PDC 切削齿的性能也是一种提高钻进效率、降低钻井成本的思路。

考虑上述 PDC 齿加工不足之处,在仿生耦合理

论技术指导下,将材料、结构和非光滑形态等多个耦合元通过多角度多尺度耦合在一起,采用热压法将不同形状的超硬材料置于特配的粉末冶金混合粉料中进行烧制,形成一种隐形的仿生非光滑切削齿。这种齿只有在切削岩石时才能显现出来,从而达到高效切削、耐磨和抗冲击的特性,并通过仿生高效切削齿与常规 PDC 齿、仿生 PDC 齿耐磨性对比试验来验证仿生高效切削齿的特性。

1 仿生切削齿设计

1.1 仿生原型

土壤洞穴动物鼯鼠常年生活在地下,其爪趾(图 1)具有优良的力学功能,具有极高的挖掘效率。鼯鼠爪趾前足为短粗结构,顶角以圆弧过渡,这种特殊的爪趾结构使其在挖掘过程中能够获得较低的切

收稿日期:2016-06-13; 修回日期:2016-07-15

作者简介:高科,男,汉族,1977 年生,副教授,博士,主要从事超硬材料及地质、石油钻头方面的研究工作,吉林省长春市西民主大街 938 号,gaokenm@jlu.edu.cn。

通讯作者:谢晓波,女,汉族,1976 年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事钻探机具和钻井液等相关研究,吉林省长春市西民主大街 938 号,xiexiaobo@jlu.edu.cn。

削阻力,还具有防粘减阻功能。因此,鼯鼠爪趾的挖掘功能为高效切削工具的设计提供了良好的仿生研究对象。



图1 鼯鼠爪趾

1.2 仿生切削齿结构设计

根据仿生原型结构,结合实际切削过程,新设计的仿生高效切削齿的外观仍为圆柱形,将超硬材料置于粉末冶金混合粉料中,采用热压法烧制而成。切削工具中的超硬材料可以由一个切削单元构成,也可以由多个切削单元组成。每个超硬材料单元的截面形状不限。粉末冶金材料用来固定和保护超硬材料,切削岩石时,粉末冶金材料先于超硬材料磨损,超硬材料外露,切削面产生沟槽形结构,改变岩石受力状态,改善切削工具的排屑环境和冷却环境,切削岩石效率提高。图2是不同形状切削单元仿生耦合切削齿的设计图。

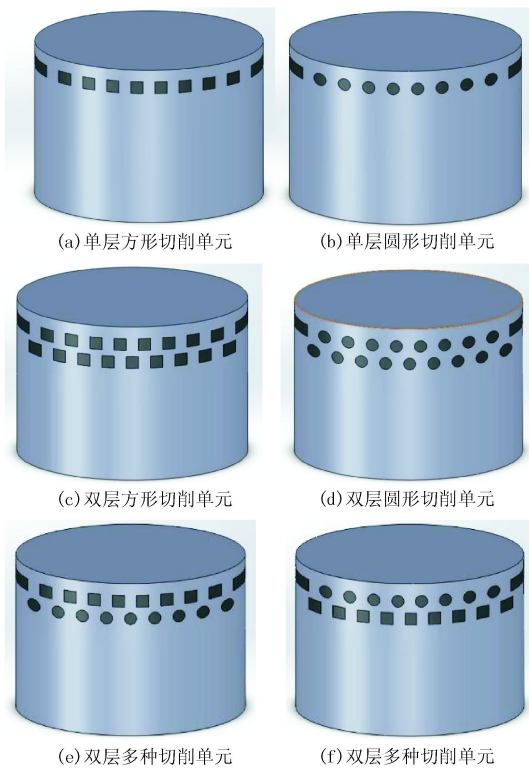


图2 不同形状切削单元切削齿设计图

2 仿生切削齿耐磨性试验

2.1 仿生切削齿制备

仿生切削齿整体结构由3部分组成,基体层、金刚石辅助层、上层覆盖层。切削单元位于覆盖层最下端。本次试验加工单层方形切削单元切削齿,切削齿直径为13.5 mm,总高度5 mm,其中基体层高2 mm,工作层高2 mm,覆盖层高1 mm。切削单元选用CVD多晶金刚石条,外形尺寸为:1 mm×1 mm×5 mm,每个仿生高效切削齿中放置6个CVD多晶金刚石条,试验采用热压法进行切削齿烧制。根据上述结构可计算出切削齿各层组分用量为:基体层胎体料3.404 g,工作层金刚石用量0.201 g,工作层胎体料2.723 g,覆盖层胎体料1.494 g。

根据上述各组分用量精确称量,经过分层组装、烘干保温,热压烧结、冷却及后期打磨处理等步骤加工出仿生切削齿,制备过程简单明晰,操作简便。制备过程见图3。

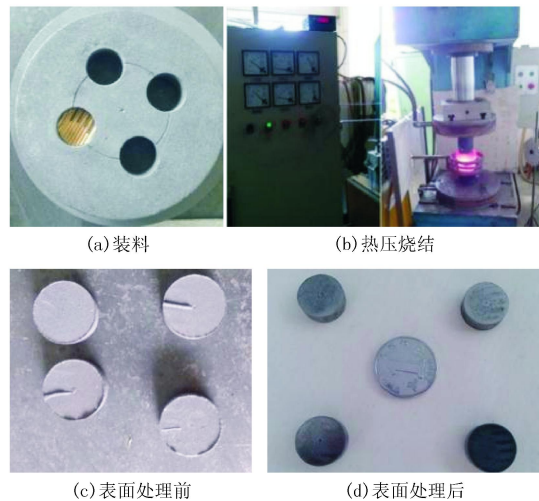


图3 制备过程

2.2 耐磨性试验

进行仿生耦合切削齿与常规PDC齿及仿生PDC齿(图4)耐磨性测试试验,试验设定参数为:线速度15 m/s,砂轮初始直径90 mm,停止砂轮直径60 mm,加载压力5 N。

试验数据见表1,图5为3种切削齿耐磨性对比图,图6为3种切削齿磨削砂轮速度对比图。

2.3 试验数据分析

(1)通过3种切削齿耐磨性试验对比发现,仿生切削齿耐磨性比普通PDC切削齿高23%,略低于仿生PDC齿13.9%。同时,仿生切削齿的切削砂轮

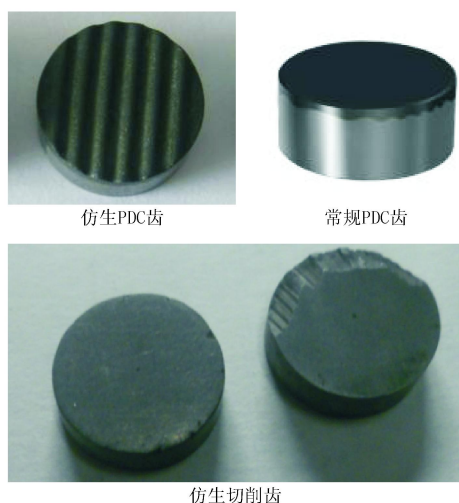


图 4 试验切削齿

表 1 耐磨性测试数据

序号	砂轮失重/g	试件失重/g	用时/s	耐磨性	砂轮消耗速度/ $(g \cdot s^{-1})$
仿生 PDC 齿	106.41	0.0009	105	118233	1.013
常规 PDC 齿	123.24	0.0015	204	82160	0.604
仿生高效切削齿	132.37	0.0013	88	101823	1.504

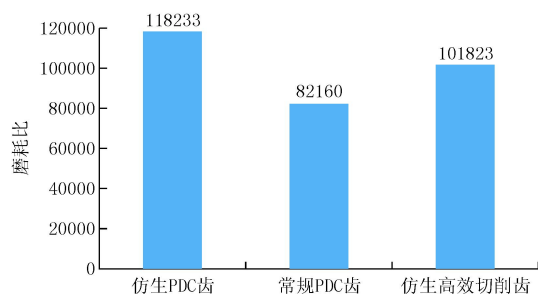


图 5 三种切削齿耐磨性对比

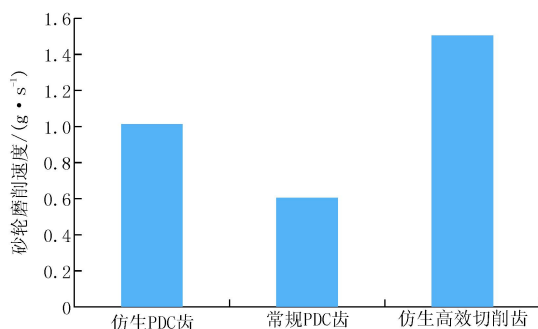


图 6 三种切削齿磨削砂轮速度对比

速度较普通 PDC 切削齿提高 1.49 倍,较仿生 PDC 齿提高 48%。说明将仿生耦合理论应用于切削齿是可行的。

(2)对比 3 种切削齿砂轮磨损速度可发现仿生切削齿砂轮磨损速度最大,分析原因主要有以下 2 点。

①仿生切削齿的主要切削元件为 CVD 多晶金刚石,与砂轮的接触方式为点接触,在砂轮表面形成高应力区,以犁削的方式消耗砂轮,且产生体积破碎,速度快。仿生 PDC 齿与普通 PDC 齿工作层为整个表面,与砂轮的接触方式为线或面接触,以切削的方式消耗砂轮,速度较慢。

②仿生切削齿自锐能力强。在工作过程中,胎体料适当磨损,CVD 多晶金刚石出露,始终保持尖锐状态,切削速度快。

3 结论

试验研究表明,仿生切削齿在碎岩机理上满足快速高效碎岩的要求,在制备工艺上具有工艺简单、可批量生产、耗时短和成本低的特点。仿生切削齿的耐磨性介于普通 PDC 齿和仿生 PDC 齿之间,说明其耐磨性能够得到保证,但不太理想,需要对仿生切削齿的胎体料配方做更进一步的研究,实现仿生切削齿真正的高效耐磨目的。通过不断完善和优化制备工艺,使仿生切削齿达到工业化生产水平。

参考文献:

- [1] 张祖培. 碎岩工程学[M]. 北京:地质出版社,2004:50-56.
- [2] 高科,孙友宏,高润峰,等. 仿生非光滑理论在钻井工程中的应用与前景[J]. 石油勘探与开发,2009,(8):519-522.
- [3] 刘宝昌,孙友宏,佟金,等. CVD 金刚石条强化孕镶金刚石钻头的试验研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2009,(6):24-27.
- [4] 石志明. PDC 齿切削载荷的测试与分析[D]. 四川成都:西南石油大学,2006:17-25.
- [5] 马清明,王瑞和. PDC 切削齿破岩受力的试验研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(2):45-47.
- [6] 任露泉,杨卓娟,韩志武. 生物非光滑耐磨表面仿生应用研究展望[J]. 农业机械学报,2005,26(7):144-147.
- [7] 马保松,张祖培,孙友宏. 钻井工程用超硬材料及钻头的发展[J]. 地质与勘探,1998,(2):50-54.
- [8] 申守庆,徐盼. 钻井用 PDC 切削齿的发展[J]. 石油钻探技术,2005,(3):8-9.
- [9] 刘福林. 仿生学发展过程的分析[J]. 安徽农业科学,2007,(15):4403-4408.
- [10] 孙友宏. 仿生非光滑孕镶金刚石钻头的研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2006:50-54.