

含纳米 Co 的新型 PDC 复合片性能试验研究

李智丽

(湖北三峡职业技术学院 湖北宜昌 443008 中国)

摘要: 纳米 Co 对 PDC 复合片性能产生相应的影响, 可以起到性能强化的作用。PDC 复合片性能指标实验主要从抗冲击性、耐磨性和热稳定性三个角度进行性能综合分析。本文对含纳米 Co 的新型复合片予以性能研究, 通过抗冲击性试验、耐磨性试验、热稳定性试验, 设置试验组和对照组, 对试验结果进行综合分析, 判断含纳米 Co 的 PDC 复合片的性能变化。

关键词: 含纳米 Co; PDC 复合片; 性能实验; 热稳定性

项目基金: 宜昌市科技局自然科学研究项目《金刚石复合钻头涂层脱钴技术研究》项目编号: A21-3-021

Experimental study on the properties of a new PDC composite sheet containing nano-Co

Li Zhili, Hubei Three Gorges Polytechnic, Yichang Hubei, 443008, China

Abstract: Nano-Co has a corresponding effect on the properties of PDC composites, which can play a role in performance enhancement. The performance of PDC composite is analyzed comprehensively from three aspects: impact resistance, wear resistance and thermal stability. In this paper, the performance of the new composite sheet containing nano-Co is studied. Through impact resistance test, wear resistance test and thermal stability test, experimental group and control group are set, and the test results are comprehensively analyzed to judge the performance change of PDC composite sheet containing nano-Co.

Key words: containing nano-Co; PDC composite sheet; Performance test; Thermal stability

引言: PDC 复合片是 PDC 钻头钻进的核心装置, 其质量对钻探质量有直接影响, 质量较差的 PDC 复合片在钻头钻进复杂且硬度较高的地质时, 经常出现断裂、崩坏等问题, 需要更换复合片后, 重新钻进施工, 导致钻井施工效率有所下降。纳米技术的发展, 为复合片的质量提升, 提供了新的思路, 一种含纳米 Co 的 PDC 复合片应用效果良好, 为进一步了解其性能指标, 采用试验方法对 PDC 性能进行评价。

1 试验设计

金刚石是 PDC 复合片的主要材料, 钴粉是复合片烧结、黏结的主要物质, 按照颗粒分布情况可以将其分为微米、纳米两种。传统的 PDC 复合片主要使用微米级的钴粉作为粘接剂, 新型的 PDC 复合片含纳米 Co, 达到纳米级别。将微米级别的 PDC 复合片作为对照组, 含纳米 Co 的 PDC 复合片作为试验组, 对其进行指标进行分析。两组试验控制将钴粉粒度作为唯一变量, 金刚石粒度均为微米级, 钴粉占据复合片的体积相同, 分别制备 30 个 PDC 复合片。

2 含纳米 Co 的 PDC 复合片微观变化

两种 PDC 复合片均在相同的条件下制备完成, 但在烧结和催化的过程中, 对照组采用传统的烧结方式, 新型 PDC 复合片则使用纳米 Co 作为催化剂和粘接剂, 对比两者之间的性能变化。

D-D 键是影响金刚石颗粒密度的主要因素, 烧结过程中 D-D 键的生产数量越多, 则键能有所增加, PDC 复合片的颗粒组织结构更加密集, 质量更加良好。将纳米

Co 作为催化剂和粘接剂后, 会促进 PDC 复合片金刚石材料 D-D 键的生成。在制备 PDC 复合片的过程中, 含纳米 Co 的复合片制备在高温、高压条件下, 原料会处于熔融状态, 并析出结晶, 纳米 Co 在烧结过程中作为粘接剂, 会促进钴粉的熔化效果, 增加石墨的溶解塑料, 析出的金刚石不断长大、连接, 且颗粒密度更高。烧结过程会形成牢固的烧结体, 以 D-D 键键合的方式进行颗粒间的填充。纳米颗粒比微米颗粒较小, 可黏结在颗粒间, 而微米 Co 钴粉的颗粒比较大, 会在熔化过程中包裹住金刚石颗粒, D-D 键无法形成。对比两种制备工艺下生产的 PDC 复合片微观组织结构, 具体结果如下:

(1) 纳米级钴粉颗粒小, 无法完全包裹住金刚石, 会密实的填充到成片之间, 使得材料颗粒更加饱满、清晰, D-D 键结合明显。

(2) 微米级钴粉颗粒较大, 完全包裹住金刚石颗粒, 导致复合片的金刚石颗粒结构并不清晰, 无 D-D 键结合。

从微观组织结构上进行判断, D-D 键的键能较高, 可起到提高组织结构连接度的作用, 可有效提高 PDC 复合片的性能指标。因此, 含纳米 Co 的 PDC 复合片在性能上更加良好。为进一步验证其对 PDC 复合片性能产生的影响, 采用试验方法进行对比分析^[1]。

3 含纳米 Co 的 PDC 复合片性能试验结果分析

3.1 抗冲击试验

3.1.1 试验设计

验证含纳米 Co 的新型 PDC 复合片与微米级传统复合片之间的性能变化。采用落锤实验法进行抗冲击性能

评价,在锤击过程中观察两种复合片的变化情况,表面是否出现断裂、裂纹等情况,如果出现断裂问题,则停止试验,并将该阶段的能量冲击参数作为复合片的抗冲击性指标。在试验过程中,初始打击能量设置为 20J,每间隔 1min 进行再次落锤打击,并提高冲击能量值,每次提升值为 5J。每次打击完成后观察 PDC 复合片的表面情况,判断其是否出现断裂。为保障试验结果的科学性,设计共计每种复合片分别进行 5 组的实验,并对平均值进行分析。

3.1.2 试验结果

抗冲击试验结果如表 1 所示。

表 1 抗冲击试验结果表 (J)

PDC 复合片	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组	平均值
微米钻	45	65	50	65	50	55
纳米钻	115	120	110	105	115	113

对抗冲击实验下的微米钻和纳米钻的抗冲击试验结果进行对比和分析,微米钻出现裂缝的最高抗击能量值为 65J,最低抗击能量值为 45J,纳米钻的抗冲击值最高可以达到 120J,最低为 105J。微米钻处于破裂情况下的冲击能量平均值为 55J,纳米钻冲击试验下的冲击能量平均值为 113J,该结果说明含纳米 Co 的复合片在抗冲击性能更加良好,抗冲击性能更加稳定^[2]。

3.1.3 影响分析

分析含纳米 Co 对新型复合片抗冲击性能所产生的影响,在冲击能量下复合片的缺陷位置产生裂缝,并沿着复合片的易解理面不断扩展。由于含纳米 Co 的 PDC 复合片生成 D-D 键,使得金刚石与 CO 之间的结合更加的牢固,且材料的结合面积比较大,裂缝产生无法进一步在金刚石层内进行扩展,裂缝主要产生在结合面的位置。含微米 CO 的 PDC 复合片在冲击能量的作用下,应力比较集中,使得在两者结合位置出现明显的裂缝,且沿着结合面不断扩展,断裂主要发生在复合片材料的内部位置。因此,含纳米 Co 的 PDC 复合片的抗冲击性能更加良好。

3.2 耐磨性试验

3.2.1 试验设计

对 PDC 复合片的耐磨性能进行评价和分析,采用刮削的方式进行 PDC 复合片的耐磨性能试验。耐磨性主要是指在刮削情况下复合片出现的磨耗量,依据磨耗量对复合片的耐磨指标进行评价。在确定切削次数的过程中,对 PDC 复合片的减少量进行计算,将其作为评价 PDC 复合片的耐磨性能指标。对照组和实验组采用相同的切削方式,并从钻头的安装位置开始切削,使用花岗岩进行刮削,试验过程中控制复合片的进尺速度为 4mm,并使用转速为 300r/min 的磨轮对其进行磨耗,在磨耗的过程

中使用常温水进行冷却,在试验过程中共计切削 5 刀,观察刮磨切削的效果。耐磨试验分别选择 5 组传统 PDC 复合片和新型 PDC 复合片进行试验,并对磨耗量进行计算。

3.2.2 试验结果

耐磨性实验结果如表 2 所示

表 2 耐磨性试验结果表 (g)

PDC 复合片	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组	平均值
微米钻	0.0068	0.0094	0.0102	0.0085	0.0112	0.0092
纳米钻	0.0038	0.0045	0.0052	0.0041	0.0048	0.0045

采用刮切试验的方法对纳米钻和微米钻的磨耗量进行对比分析,微米钻的 PDC 复合片的磨耗量最高值达到 0.0112g,最低值为 0.0068g,平均值为 0.0092g,含纳米 Co 复合片的磨耗量最低值为 0.0038g,最高值为 0.0052g,平均磨耗量为 0.0045g。经过对比分析,在添加纳米 Co 后复合片的耐磨性能得到明显的提升,耐磨性更加稳定^[3]。

将花岗岩作为复合片刮切的主要材料,在刮切过程中金刚石表面与花岗岩接触,可能会导致花岗岩的颗粒进入到金刚石表面位置,使得其处于净水压力的状态。在具体使用过程中,由于金刚石具有脆性特点,在磨削过程中会出现断裂剥落的情况,在接触的过程中会产生应力,使得其出现裂纹。尤其是复合片的作业环境处于周向荷载之下,会在磨损过程中产生交叉碎片,使得材料表面出现断口,并呈现出层次分布的状态。对比微米钻和纳米钻的磨损表明情况,含纳米 Co 的 PDC 复合片出现的断口层状分布并不明显,微米钻的剥落情况比较严重,因此,可以判断复合片在长期磨损的工作环境下,含纳米 Co 的复合片耐磨性能更加良好,在地质作业过程中的使用寿命更长。

3.2.3 影响分析

分析纳米 CO 对 PDC 复合片耐磨性能的影响,制备复合片的金刚石材料在硬度上比较高,在 D-D 键生成的过程中呈现出片状连接的形态,其稳定性更强。微米钻金刚石颗粒被 CO 完全包裹,硬度有所降低。添加纳米 Co 的复合片在硬度性能上良好,耐磨性也可以得到一定高程度的保障。当复合片处于刮削状态下时,Co 会被率先磨损,微米钻金刚石颗粒会经过磨损后暴露在外环境之中,Co 的黏结效果较差,无法承受外部的应力,导致其出现断裂的情况。含纳米 Co 在复合片中的颗粒成片存在,旨在磨耗过程中金刚石直接与岩石表面接触,接成片连接状态下的抗磨损性能较好,耐磨性能得到良好提升。

3.3 热稳定性试验

3.3.1 试验设计

热稳定性是指复合片在不同温度变化下的组织结构变化,其在不同温度变化下的组织结构变化情况以及最高可承受的温度,为进一步试验温度持续时间对复合片所产生的影响,判断其在钻进过程中的持续作业能力,采用加热的方式进行对比分析。试验设计将复合片处于1000℃高温环境内,控制恒温持续时间为1min,待复合片冷却后进行磨损试验,对其磨损量进行分析,结合磨损试验结果对复合片的热稳定性进行判断和分析^[4]。

3.3.2 试验结果

具体热稳定性试验结果如表3所示。

表3 热稳定性试验结果表

PDC复合片	A组	B组	C组	D组	E组	平均值
微米钻	0.0088	0.0134	0.0152	0.0185	0.0132	0.0138
纳米钻	0.0068	0.0075	0.0082	0.0063	0.0076	0.0073

对比耐磨性的试验结果,当复合片处于1000℃环境内1min后,待到自然冷却后进行磨损量的对比分析,其磨损量远远高于耐磨试验的磨损量,且微米钻的磨损量最高达到0.0185g,最低为0.0088g,平均磨损量在0.0138g,含纳米复合片的磨损量最高为0.0082g,最低为0.0063g,平均磨损量为0.0073g。通过数据对比分析后可得出结论,温度对复合片的性能会产生一定程度的影响,且对含纳米Co的PDC复合片的影响程度比较低,对微米钻的影响程度比较高,比较而言,含纳米Co的PDC复合片的热稳定系数更高。

热稳定性试验与耐磨性实验机理大致相同,经过热处理后的耐磨性实验结果表明复合片的表面状态断层现象更加明显。对产生此问题的原因进行分析,由于粘接剂在复合片中的存在内部组织结构的热膨胀系数有所不同,使得复合片的热稳定性产生影响。通过对比纳米级和微米级的复合片的磨损断口情况,微米级的PDC复合片的层状分布情况更加明显,含纳米Co的PDC复合片层状分布状态并不明显,说明含纳米Co复合片的热稳定性系数更加良好,可以起到提高复合片热稳定性的作用。

3.3.3 影响分析

将纳米Co作为粘结剂和催化剂,由于金刚石与Co之间的热膨胀系数有所不同,金刚石的热稳定性系数在 $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,Co的热稳定性系数在 $13.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。由于高温状态下Co与金刚石材料的热膨胀程度有所不同,导致其内部结构的稳定性有所降低,使得其产生裂缝。当复合片处于工作状态时,会在外部应力作用下以及摩擦的作用下,产生裂缝,并沿着粘界面不断扩展,最终出现脱落问题。微米级的复合片在高温作用下,金刚石内部颗粒会产生膨胀作用,Co的热膨胀系数较高,脱落更加

严重,纳米Co由于在组织颗粒结构内形成了D-D键,使得结合面的面积增加,在高温膨胀过程中需要更多的应力,因此,含纳米Co的PDC复合片的热稳定性系数更高。

3.4 综合性能分析

依据上述3种试验结果对纳米Co对复合片的影响进行分析。在分组试验过程中,不同组别的微米钻和纳米钻的试验结果存在明显的差异,由于在制备过程中所使用的Co含量有所不同,Co含量会对PDC复合片的综合性能产生一定程度的影响。在抗冲击实验过程中,纳米级的最高承受能量为120J,最低承受能量为105J,微米级的复合片最高承受能量为65J,最低承受能量为45J,由于Co含量不同,导致综合性能存在一定程度的差异。在制备过程中科学地控制Co含量可以起到提高复合片质量的作用。采用综合试验的方式对不同含量纳米Co和微米Co性能指标进行对比分析,当纳米Co处于4%左右时可达性能指标的最大化,如果超出5%,则PDC复合片的质量呈现出下降的趋势。微米级复合片Co含量在达到5%左右时可以达到最佳的性能效果,过高或者过低均会影响复合片的综合性能指标。因此,在制备过程中,控制Co含量在4%至5%为最佳。

结论:综上所述,纳米Co在PDC复合片中的应用起到了催化、黏结的作用,含纳米Co的新型复合片性能指标有所提升。经过试验研究后发现,比较传统的PDC复合片,抗冲击性能、耐磨性能、热稳定性等相关指标均有所提升,对性能提升的机理进行分析,纳米Co促进了新型复合片D-D键的形成,复合片的结构更加紧密、均匀。

参考文献:

[1]周成,赵星,徐浩然,等.添加晶粒长大抑制剂对细粒度金刚石复合片烧结的影响[J].超硬材料工程,2022,34(02):7-14.
 [2]李尚劼,杨华.熔渗烧结钴浓度梯度对金刚石复合片力学性能的影响[J].粉末冶金技术,2021,39(06):526-531.
 [3]朱佳俊,魏文亮,吴名扬,等.从聚晶金刚石复合片(PDC)外圆加工废料中浸出钴[J].湿法冶金,2021,40(05):373-376.
 [4]孙爱玲,覃伟源,刘洋,等.硬质合金基底镀钛对PcBN复合片界面过渡层及性能的影响[J].超硬材料工程,2021,33(04):1-6.

作者简介:李智丽(1984年10月23),女,汉,青海海西人,学历:硕士,单位:湖北三峡职业技术学院副教授,研究方向:机械工程