

电镀金刚石钻头镀层与钢体结合强度研究

潘秉锁, 杨 洋, 杨凯华

(中国地质大学工程学院, 武汉 430074)

[摘 要] 采用直接剪切试验, 研究了稀土添加量、镀液 pH 值和电流密度对结合强度的影响; 并结合试样断口的扫描电镜分析结果, 对镀层的破坏形式进行了讨论。

[关键词] 电镀 金刚石钻头 结合强度 稀土

[中图分类号] P641 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2005)03-0092-03

钻头工作层和钢体之间的结合本质和结合程度具有特别重要的意义。国内, 张绍和研究了棒状基体和其上的环形镀层试样之间的剪切强度, 认为在镍钨配方中脉冲镀层与基体的结合强度比直流镀层的结合强度高^[1]。李大佛利用扭转试验研究了钻头工作层和钢体之间的结合强度^[2]。原苏联的 A. A. 布加耶夫研究了正方形截面(9mm×9mm)的纯镀层试样和含金刚石试样与基体间的抗剪切强度^[4]。

本文采用直接剪切试验, 研究了稀土添加量、镀液 pH 值和电流密度对结合强度的影响, 并结合试样断口的扫描电镜分析结果, 对镀层的破坏形式进行了讨论。

1 试验方法

定性的鉴定镀层结合强度的方法很多, 包括弯折、扭曲、锉刷、錾剥、锤打、冲击以及加热等。定量方法大致可分为: 拉、剪、剥三种加力方式^[5]。

对于电镀金刚石钻头来说, 工作层掉块主要是由剪切力造成的, 所以选用剪切试验来测试工作层和钢体之间的结合强度应该能反映工作条件对它的要求, 应该还是比较合理的。试验所用夹具的材料为 40Cr 钢。试验在广州试验仪器制造厂生产的 WE-30 型液压式万能材料试验机上进行。试验时加压速率约为 10N/s。试样的基体采用 45# 钢, 尺寸为 40mm×8mm×8mm, 工作面积为 64mm², 试样的唇部为含金刚石的电镀

层; 压头材料为制刀用白钢。

入槽前基体工作面经: 砂纸打磨、化学除油、稀盐酸浸蚀、电化学除油、20% 硫酸中阳极活化等处理, 再带电入槽。入槽后, 先预镀 0.5C/dm² (镀层厚约为 6μm), 再上砂; 电镀 0.4 C/dm² 后卸砂; 然后加厚镀至镀层高 2.5mm。金刚石采用 50/60 目 (75wt.%) 和 60/70 目 (25wt.%) 的混合金刚石。使用前, 金刚石经专门的处理液作表面处理, 用蒸馏水清洗后在稀释的普通镀镍液中浸泡 3 小时。

在研究中, 主要考察了稀土添加量、pH 值和电流密度对镀层和基体间结合强度的影响。所用的基本镀液含 NiSO₄·6H₂O 250g/L, H₃BO₃ 30g/L, NaCl 15g/L, 十二烷基硫酸钠 0.1g/L。镀液温度 40℃, 电镀过程中镀液不搅拌。

2 测试结果

所研究的各镀液配方、工艺条件及其结合强度测试结果如表 1。由测试结果可以看出, 添加稀土对于提高镀层与基体间的结合强度有明显的作用。当稀土添加剂的加量为 1.0g/L 时, 效果最好, 结合强度比基本镀液的提高了 17.4%。在试验的电流密度条件下, 电流密度对结合强度也有较大的影响。电流密度从 1.6A/dm² 提高到 2.5A/dm² 时, 各种镀液获得的镀层与基体的结合强度都普遍提高, 幅度在 10% 上下。而在试验的 pH 值范围内, 除了 pH 值为 3.0 时结合强度稍低外, pH 值对镀层与基体的结合强度的影响较不显著。

[收稿日期] 2004-09-29; [修订日期] 2005-03-23; [责任编辑] 陈仁俊。

[基金项目] 国土资源部地质调查科技项目 (项目编号: 0999209011)。

[第一作者简介] 潘秉锁 (1976 年-), 男, 2003 年毕业于中国地质大学 (武汉), 获博士学位, 现主要在中国地质大学工程学院勘基系工作。

表1 镀层结合强度测试结果

镀液组成	pH 值	电流密度 (A/dm ²)	压力读数 (N)	结合强度 (MPa)
基本镀液	4.0	1.6	3350	52.3
基本镀液 + 0.5g/L RE	4.0	1.6	3690	57.7
基本镀液 + 1.0g/L RE	4.0	1.6	3820	59.7
基本镀液 + 1.5g/L RE	4.0	1.6	3780	59.0
基本镀液	4.0	2.5	3680	57.5
基本镀液 + 0.5g/L RE	4.0	2.5	3930	61.4
基本镀液 + 1.0g/L RE	4.0	2.5	4320	67.5
基本镀液 + 1.5g/L RE	4.0	2.5	3960	61.9
基本镀液 + 1.0g/L RE	3.0	1.6	3540	55.3
基本镀液 + 1.0g/L RE	3.5	1.6	3670	57.3
基本镀液 + 1.0g/L RE	4.0	1.6	3820	59.7
基本镀液 + 1.0g/L RE	4.5	1.6	3840	60.0

3 镀层与基体间结合强度测试结果讨论

从本质上看,结合强度的大小是由沉积金属原子与基体金属原子之间的互相作用力所决定的。不言而喻,沉积金属与基体金属的本质是决定结合强度的主要因素。按照 Hothersall 的意见,当一种金属在另一种金属的清洁表面上沉积时,如果沉积物沿袭基体的结构进行生长,或者沉积原子进入基体金属的晶格并形成合金,结合强度一般都比较良好。这一观点已得到不少研究者的赞同,而且已被用于指导生产实践。外延生长的条件是沉积金属晶格中的与基体金属晶格中的原子间距相差不大于 15%^[6]。镍在铁上的沉积满足这一条件。同时,镀层的结合力是在镀覆材料与基体材料的两相界面间各个部位上所形成的结合强度的一种量度,因此,结合强度也明显地受到基体表面状态的影响。基体表面上氧化物或钝化膜的存在以及镀液中杂质在基体表面上的吸附都会削弱结合强度,因为局外物质的存在都会减小沉积金属与基体金属的有效接触面积。由此可见,尽管两种材料间能够形成的结合强度很高,如果从工艺上无法做到使镀层真正良好的粘附,那么这种镀层仍然是没有实用价值的。因此,从理论上来说,镍镀层与铁基体之间能形成高强度的结合,但在现实中要做到这一点,还必须有合理的镀前处理工艺和电镀工艺。

本试验中,试样的破坏形式都是镀层失效,即在第一层金刚石的中心面附近首先出现裂纹,然后随着裂纹的扩展,镀层与基体发生错动而脱落,但基体表面仍被镀层所覆盖,没有出现镍与基体完全脱离的情况,如图1、图2。

我们认为,镀层的这种破坏形式是由工作层材

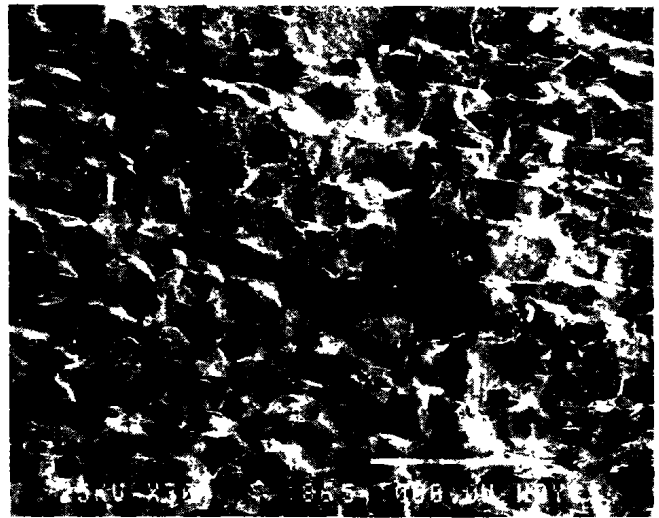


图1 剪切试验后基体表面

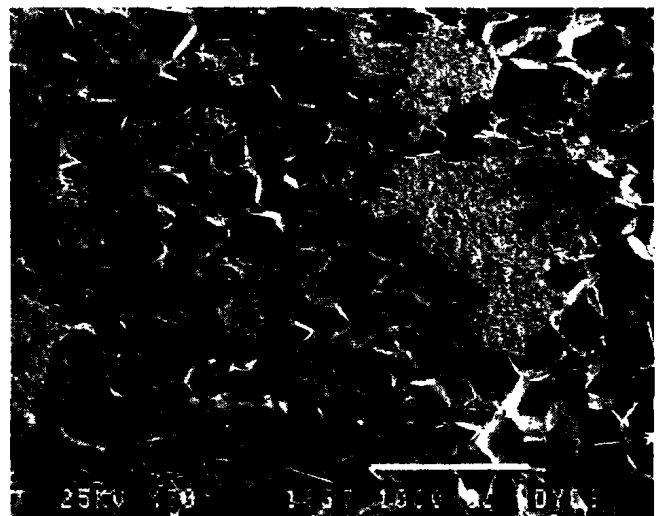


图2 金刚石在胎体中的分布

料的结构决定的。与其它超硬材料复合镀层的结构相似,电镀钻头工作层是由电沉积的金属相和分散在金属中的微粒相——金刚石组成的。电沉积金属相又包括底镀层、上砂镀层、加厚镀层等。底镀层是直接接基体的不含金刚石的单纯金属镀层,它的主要作用是避免金刚石与基体的直接接触,加强工作层与基体间的结合。上砂镀层是指用于初步固结磨粒的镀层。加厚镀层是金属相的主体,起固结、包镶金刚石的作用。由于电镀过程中金刚石和金属镀层之间没有两相间的相互扩散,金属镀层对金刚石的包镶作用主要是机械咬合作用,因此电镀钻头工作层是一种机械混合复合材料。虽然电镀金刚石钻头工作层中的金刚石具有极高的强度,电沉积镍也有很高的强度,但金刚石与镍镀层之间的结合强度很低。因此,此类金属复合材料的基本结构强度与分散相浓度的关系服从下式^[7]:

$$\sigma = \sigma_{Mc} (1 - b\phi_v - c\phi_v^2) \quad (1)$$

式中: σ ——复合材料基本结构强度;
 σ_{Me} ——金属结合剂强度;
 φ_v ——分散相体积百分比;
 b, c ——系数。

由(1)式可知,工作层的结构强度取决于其中金刚石的含量:工作层中金刚石浓度越高,整体强度就越低。由于金刚石基本上呈球形且在工作层中呈层状分布,如图3,这样,在离预镀层距离等于金刚石颗粒半径的截面(即图3中的A-A面)上金刚石的面浓度最大,所以镀层在该处的强度最低,最容易发生破坏。同时,镍层与铁基体结合牢固,甚至出现了基体表面随镀层一起被剪切下来的情况(图4),这种破坏形式也说明选择的镀前处理工艺比较合理。镍镀层与铁基体结合强度较高是因为镍与铁金属晶格中的原子间距相差不大,在镀前处理工艺合理的情况下,沉积镍能沿袭铁基体的结构进行外延生长。稀土的添加能减少镀层中氢氧化镍等杂质的夹杂,细化晶粒,有利于提高镀层的强度,故能提高镀层与基体的结合强度。氢脆也是表面层破坏的常见原因。在表面硬化钢上镀镍时,镀后在200℃下经过30min烘烤除氢之后,结合力值由大约80MPa升高到338MPa。因此,稀土能提高结合强度也可能跟它的抑制析氢反应的作用有关。而电流密度对结合强度的提高作用可能与适当提高电流密度可使镀层结晶细致,镀层强度升高有关。

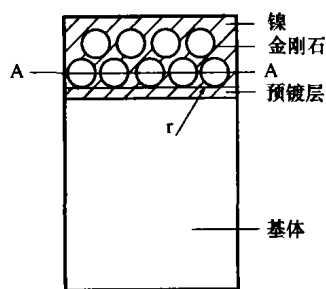


图3 金刚石在胎体中的分布示意

4 结论

通过以上试验与分析,本文认为:(1)镀镍液中添

加稀土可明显提高镀层与基体之间的结合强度;适当提高阴极电流密度也有提高镀层结合强度的作用,而试验范围内pH值的影响较不明显;(2)电镀金刚石钻头工作层与钢体之间的结合强度除了与钢体工作面镀前处理工艺和电镀工艺相关外,也受工作层中金刚石浓度的限制,金刚石浓度越高,工作层整体强度越低;(3)金刚石钻头工作层中,越靠近钢体的部位所承受的作用力越大。因此,为了与这种受力状况相适应,第一、二层的金刚石浓度可适当降低以提高结合强度。

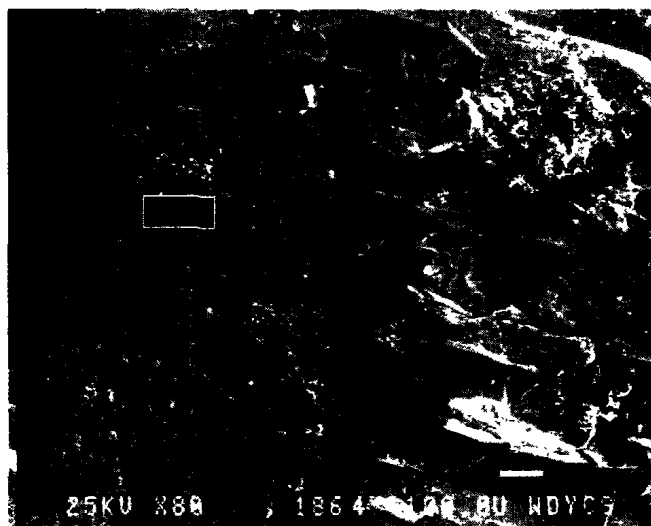


图4 基体表面随镀层剥离

[参考文献]

- [1] 张绍和. 脉冲电镀法和直流电镀法制造钻头的比较研究[J]. 探矿技术, 1996(4), 21~22.
- [2] 李大佛. 电镀金刚石钻头研究[M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1987.
- [3] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京: 地质出版社, 1991, 253~254.
- [4] A. A. 布加耶夫. 人造金刚石在地质勘探钻进中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1981, 118.
- [5] 黄子勋, 吴纯素. 电镀理论[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1981, 114~118.
- [6] 周绍民. 金属电沉积-原理与研究方法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [7] 李荣久. 陶瓷-金属复合材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

STUDY ON COATING - TO - SUBSTRATE BOND STRENGTH OF ELECTROPLATED DIAMOND BIT

PAN Bing - suo, YANG Yang, YANG Kai - hua

Abstract: To increase the coating - to - substrate bond strength of electroplated diamond bit, the effects of rare earth content in plating solution, plating solution pH value and cathodic current density on coating - to - substrate bond strength were investigated by direct shearing test. Moreover, combined with the samples' fracture analysis of scanning electron microscope, the fracture mode of coatings was discussed.

Key words: electroplating, diamond bit, bond strength, rare earth