

文章编号: 1006-852X(2005)06-0038-03

新型组合式金刚石圆锯片性能研究^{*}

王志 张进生 王学礼

(山东大学机械工程学院 济南市经十路 73号 250061)

(山东省石材工程技术研究中心 济南市经十路 73号 250061)

摘要 提出一种切割幅面达到其直径 $2/3$ 的新型组合式金刚石圆锯片基体。应用有限元分析软件 ANSYS 针对直径 $\Phi 1800\text{mm}$ 的新型组合式金刚石圆锯片, 分析、计算其固有频率、变形和应力分布情况对工作性能的影响, 并与普遍应用的金刚石圆锯片固有频率、振型、应力分布等进行比对分析。结果表明: 组合式金刚石圆锯片最大变形 0.2mm 表现在切向; 最大第一主应力 $0.13920\text{E}+08\text{Pa}$ 表现在辅助轮与切割外环接触部分及水槽处; 固有频率及振型与普通金刚石圆锯片相近, 能够满足加工质量要求。

关键词 金刚石圆锯片; 组合式; 模态分析; 振动

中图分类号 TQ164 文献标识码 A

Study on performance of new combined diamond saw blade

Wang Zhi Zhang Jinheng Wang Xueli

(School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

(Stone Engineering Research Center of Shandong Province, Jinan 250061, China)

Abstract A new combined diamond saw blade was brought forward. The cutting breadth of the combined saw can reach two thirds of its diameter. A $\Phi 1800\text{mm}$ combined saw was taken as example. By using ANSYS, the influence of its inherent frequency, deformation and stress distribution of new combined diamond saw blade on its working function was analyzed and computed. Through comparison and contrast of the inherent frequency, vibration and stress distribution of the new combined saw with those of the widely used common diamond saw blade, the following conclusions were reached. The deformation value of the combined diamond saw is 0.2mm , which locates in the cutting direction. Its maximum first main stress value is $0.13920\text{E}+08\text{Pa}$, which locates in the gullet and the tangent part of assistant wheels of cutting annulus. Its inherent frequency and vibration type are similar to those of the common diamond saw blade and it can satisfy the machining quality request.

Keywords diamond saw blade; combined; modal analysis; vibration

1 引言

普通金刚石圆锯片存在一个明显的缺陷: 切割石材制品幅面的宽度小于锯片的半径, 其有效切割宽度一般只达到圆锯片直径的 $30\sim 35\%$ 。建筑装饰和机械制造业对大幅面石材制品需求量的增大, 使得幅面宽度在 $900\text{mm}\sim 1200\text{mm}$ 的制品在加工中所占的比重也越来越大。

本文提出一种不用增大锯片直径来扩大加工幅面的组合结构金刚石圆锯片基体^[1], 使圆锯片的切割幅面达到其直径的 $2/3$ (如一个直径为 $\Phi 1800\text{mm}$ 的锯片可以切割石材的宽度达到 1200mm 左右), 如图 1 所示。

为了解组合式金刚石圆锯片工作过程中振动、变形对其工作性能的影响程度, 应用 ANSYS 对其进行结构静力分析模态分析, 也为以后对组合式金刚石圆锯片进行优化设计提供了理论依据。

* 山东省自然科学基金资助项目 (Y2003F11)

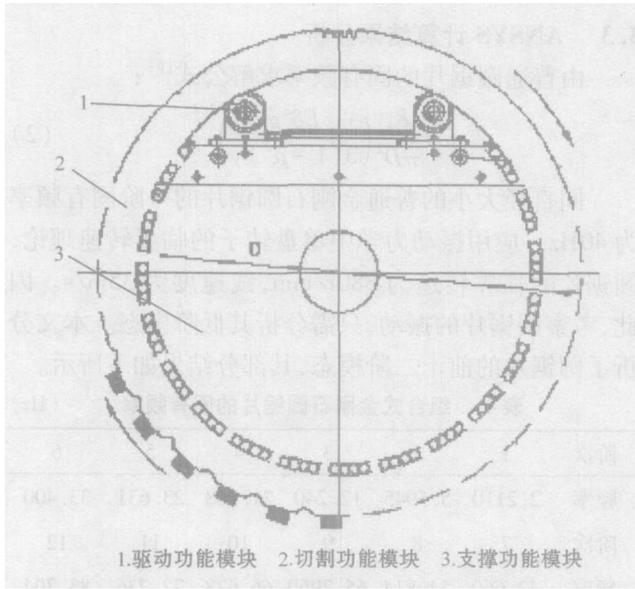


图 1 新型组合结构圆锯片概念设计示意图

2 结构静力分析

2.1 载荷计算

对 $\Phi 1800mm$ 组合式金刚石圆锯片进行结构静力分析首先要建立其受力模型。锯片在工作过程中受到径向力和切向力的作用。为了测量的方便, 将径向力和切向力分解成沿水平方向的 F_x 和沿垂直方向的 F_y 。根据试验得出切向力、径向力经验公式^[7]:

$$\left. \begin{aligned} F_n &= 0.985 a_p^{0.719} v_f^{0.859} B \\ F_t &= 0.223 a_p^{0.789} v_f^{1.18} B \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 a_p —— 切割深度

v_f —— 进给量

B —— 金刚石结块宽度

取 $a_p = 12mm$, $v_f = 0.5m/min$ 求得 $F_n = 135.97N$, $F_t = 444.5N$ 。在同一时刻有三个齿参加切削。将 F_x 和 F_y 平均分配到三个齿上。

2.2 静力计算结果分析

锯片工作过程中受到连续的冲击力, 造成金刚石结块的疲劳破损和切割外环的变形。静力分析考察圆锯片的应力分布状态及其变形情况, 为圆锯片的设计提供理论参考^[8]。 $\Phi 1800mm$ 组合式金刚石圆锯片分析结果如下:

表 1 组合式金刚石圆锯片和普通金刚石圆锯片变形比较 (mm)

位移选项	切向最大值	径向最大值	轴向最大值	USUM 最大值
组合式金刚石圆锯片	0.22291E-03	0.61850E-04	0.83987E-07	0.223E-03
普通金刚石圆锯片	0.33128E-05	0.10356E-05	0.31244E-07	0.333E-05

表 2 组合式金刚石圆锯片和普通金刚石圆锯片应力比较 (Pa)

应力选项	组合式金刚石圆锯片		普通金刚石圆锯片	
	MAX	M N	MAX	M N
切向	0.10562E+08	-0.11314E+08	0.20335E+07	-0.29809E+07
径向	0.12165E+08	-0.12980E+08	0.43846E+07	-0.45279E+07
第一主应力 S1	0.13920E+08	-0.25616E+07	0.48371E+07	-0.65426E+06
第三主应力 S3	0.27172E+07	-0.14855E+08	0.59625E+06	-0.47760E+07

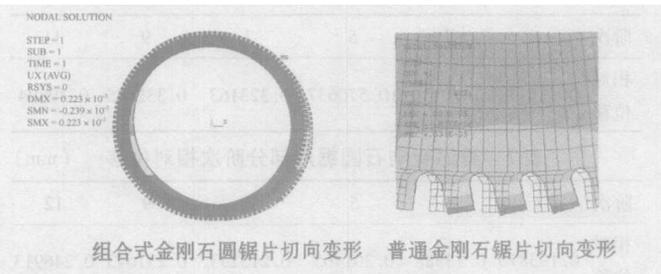


图 2 两种锯片切向变形云图

片切向变形明显比普通金刚石圆锯片的大, 最大变形量达到 0.22291mm; 新型组合结构圆锯片的最大变形表现在切割外环和结块上, 普通金刚石圆锯片的最大变形处仅仅表现在结块上;

(2) 切削过程中, 新型组合结构圆锯片产生的最大应力比普通金刚石圆锯片大的多, 发生在切割外环及结块上, 而普通金刚石圆锯片则发生在水槽处。根据第三强度理论 $\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$, $\sigma_1 - \sigma_3 \leq 0.13920E+08 - (-0.14855E+08) = 28.755MPa$ 切割外环切削过程中产生的应力远小于其许用应力 270MPa

由以上的有限元分析结果可以看出:

(1) 在连续冲击力的作用下, 新型组合结构圆锯

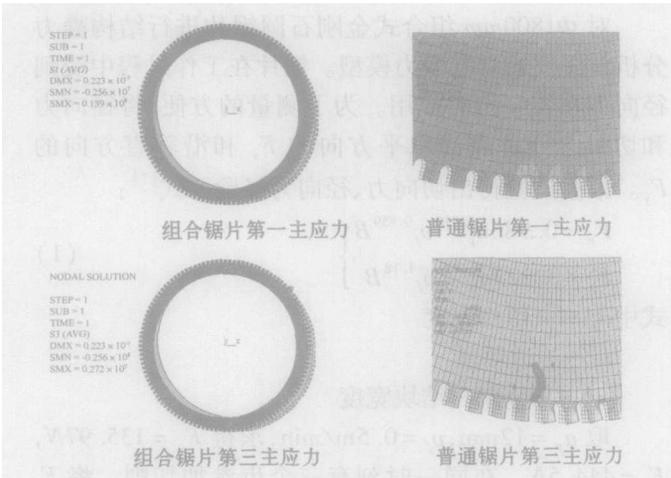


图 3 两种圆锯片应力分布云图

3 模态分析

组合式金刚石圆锯片是大径厚比的超薄板构件(径厚比 $D/\delta > 200$), 在工作过程中常受到不均匀载荷的冲击, 锯片振动成为影响锯片寿命和加工性能的主要原因。锯片振动与其固有频率和振型有密切的关系, 因此对切割外环进行模态分析^[2,3]。表征模态的特征参数是振动系统的各阶固有频率、固有振型、模态质量、模态刚度和模态阻尼等。本文对组合式金刚石圆锯片进行模态分析主要是计算切割外环的固有频率及其振型^[4]。

3.1 模型建立及网格划分

对圆锯片进行一定的简化, 忽略切割外环内圈的链齿, 使金刚石结块与切割外环周齿等宽、厚。基本结构参数如表 1 所示。

表 3 有限元模型的基本数据 (m)

切割外环外圆	切割外环内圆	切割外环厚度	结块宽度	结块厚度	结块高度	水槽宽度	水槽深度
0.9	0.75	0.008	0.009	0.008	0.012	0.02	0.025

为控制网格尺寸及计算精度, 定义两种单元类型 SHELL63 和 SOLID45。应用单元类型 SHELL63 建立切割外环面单元, 水槽口网格的密度大些。改变单元类型, 应用 ANSYS 的延拓功能将壳单元延拓成体单元, 同时删掉面单元^[5]。

3.2 约束条件

在模态分析中, 唯一有效的“载荷”是零位移约束。由于对组合式金刚石圆锯片进行静态特性分析, 所以对锯片切割外环施加全约束。将笛卡儿坐标系旋转到柱坐标系下, 选择辅助轮约束的节点, 并对其施加全约束。

3.3 ANSYS 计算结果分析

由普通圆锯片的固有频率求解公式^[6]:

$$f = \frac{K_f}{\pi D^2} \left[\frac{E \delta^3 g}{3(1-\mu^2)\gamma} \right]^{1/2} \quad (2)$$

同直径大小的普通金刚石圆锯片的一阶固有频率为 40Hz。应用振动力学中单盘转子的临界转速理论, 圆锯片的临界转速为 380r/min, 线速度为 35m/s。因此, 考察圆锯片的振动, 只需分析其低阶模态。本文分析了圆锯片的前十二阶模态, 其部分结果如下所示。

表 4 组合式金刚石圆锯片的固有频率 (Hz)

阶次	1	2	3	4	5	6
频率	2 2110	5 5945	12 240	21 568	23 631	33 400
阶次	7	8	9	10	11	12
频率	47 660	54 814	65 2960	66 678	72 736	83 304

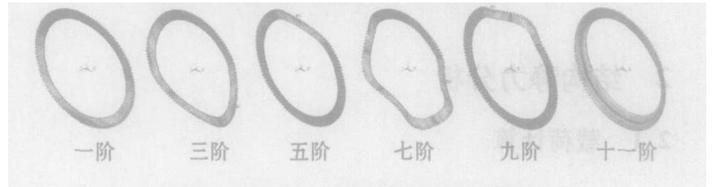


图 4 组合式金刚石圆锯片部分振型

表 5 普通金刚石圆锯片的固有频率 (Hz)

阶次	1	2	3	4	5	6
频率	12 988	12 988	13 771	16 855	16 855	31 672
阶次	7	8	9	10	11	12
频率	31 672	54 101	54 101	82 136	82 136	86 216

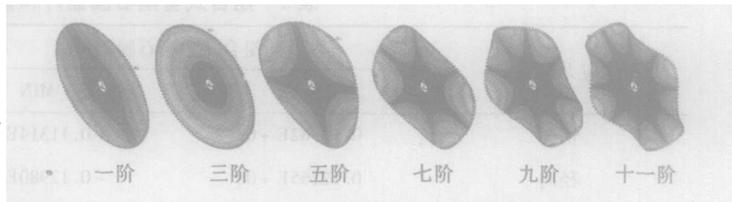


图 5 普通金刚石圆锯片振型

表 6 组合式金刚石圆锯片部分阶次相对位移 (mm)

阶次	1	3	5	7	9	11
相对位移	0.315158	0.31084	10.570637	0.323163	0.332645	0.49894

表 7 普通金刚石圆锯片部分阶次相对位移 (mm)

阶次	1	3	5	7	9	12
相对位移	0.193876	0.13588	0.201465	0.215293	0.231643	0.246913

由以上分析数据可以看出:

(1) 新型组合结构圆锯片和普通 (下转第 53 页)

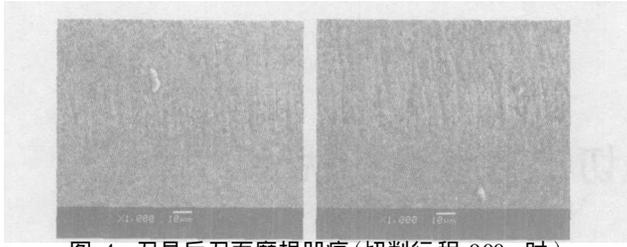


图 4 刀具后刀面磨损凹痕(切削行程 900m 时)

承钢 GCr15 进行了试验研究,对已加工表面微观结构进行了测试、对比和分析,结果表明:

(1)较高的切削速度下,干切削初期工件表面即有白层出现,而湿切削因为有切削液的冷却作用,在刀具达到剧烈磨损之前未发现明显的白层出现,说明较高的切削温度对白层生成有很大的影响。

(2)硬态切削中已加工表面质量与刀具后刀面磨损关系密切,随随后刀面磨损量的增加,已加工工件表面白层、黑层的厚度逐渐增大。

(3)湿切削条件下加工的工件表面粗糙度 R_a 值稍好于干切削时表面粗糙度 R_a 而且在刀具磨损范围

内,表面粗糙度 R_a 值变化很小。

(4)为了降低表层和亚表层缺陷,获得更好的加工表面质量,适量的冷却润滑是必要的。

参考文献

- 1 Rech J, Moisan A. Surface integrity in finish hard turning of case hardened steel [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacturing, 2003, 43: 543~550
- 2 文东辉, 郑力, 刘献礼等. 精密硬态切削过程金属软化效应与表面塑性测流的研究 [J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2003, 4
- 3 Liew W Y H, Yuan S, Ngoi B K A. Evaluation of machining performance of STAVAX with PCBN tool [J]. Int J Adv Manuf Technol, 2004, 23: 11~19
- 4 Poulachon G, Albert A et al. An experimental investigation of work material microstructure effects on white layer formation in PCBN hard turning [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacturing, 2005, 45: 211~218
- 5 Ramesh A, Melkote S N et al. Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel [J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 39: 88~97

作者简介: 曹永泉, 男, 大连理工大学机械工程学院硕士研究生
E-mail: liuding@163.com

(收稿日期: 2005-06-3)

(编辑: 王 琴)

(上接第 40 页) 金刚石圆锯片的各阶频率及振型基本相同, 新型组合结构圆锯片的第一和第二阶固有频率比普通金刚石圆锯片的固有频率低, 较强振型的出现比普通金刚石圆锯片早, 说明新型组合结构圆锯片更容易被激发振动;

(2) 根据表 6 和表 7 相同阶次的新型组合结构圆锯片的相对位移要比普通金刚石圆锯片的大, 最大振幅达到 0.57mm, 而普通圆锯片只有 0.24mm, 表明新型组合结构圆锯片工作过程中振动更剧烈。

4 结论

(1) 组合式金刚石圆锯片同阶次的相对位移大约是普通金刚石圆锯片的 2 倍 (最大相对位移 0.570637mm), 且前两阶固有频率低, 因此比普通金刚石圆锯片更容易受到外界的扰动而引起振动。固有频率相近, 振型一致或相差一阶次, 说明两种锯片的动态性能相差不大。在实际工作中组合式金刚石圆锯片应当适当降低转速以避开强振型的影响。

(2) 切削过程中, 应力对组合式金刚石圆锯片的影响比较小 ($\sigma_1 - \sigma_3 \leq 28.755 \text{ MPa}$)。切削力对组合式金刚石圆锯片的切向变形有较大的影响 (切向位移为 0.2mm), 但对加工质量影响不是很大。

(3) 切割大幅面石材制品不必选用价格昂贵的超大金刚石圆锯片、大砂锯或者金刚石串珠锯。对于现有的普通金刚石圆盘锯机进行简单的改装, 装上本文

提出的组合式金刚石圆锯片, 即可用于切割大幅面石材制品, 使金刚石圆盘锯在切割宽幅面石材制品的应用中充分体现其低成本、高效率的优势, 特别在中小批量生产中优势明显, 应用前景广阔。

参考文献

- 1 张进生, 王志. 一种金刚石圆锯片 [P]. 中国, 发明专利, 02110005. 5
- 2 Hu Y N, Wang C Y, Ding H N. The Mechanical Performance of Diamond Saw Blades with Special Structure [J]. Key Engineering Materials, 2004, 259~260: 141~145
- 3 赵民, 郑春歧, 张丽秀. $\Phi 1600\text{mm}$ 金刚石圆锯片的有限元分析 [J]. 石材, 1999(2)
- 4 Abayakoon S B S, Lam F. Finite element analysis of saw blade vibrations under in-plane and lateral loading [J]. Journal of the Institute of Wood Science, 2001, 15(5): 253~260
- 5 倪栋, 段进, 徐久成. 通用有限元分析 ANSYS7.0 实例讲解 [M]. 电子工业出版社, 2003
- 6 邹家祥, 施东成. 轧钢机械理论与结构设计 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993
- 7 吴雪松, 张明露, 刘培德. 锯片引起的应力分布 [J]. 大连理工大学学报, 1996, 36(2)
- 8 汤红群, 王成勇, 胡映宁. 抗冲击金刚石圆锯片结构的有限元分析 [J]. 工具技术, 2003, 37(6)

作者简介: 王志, 男, 1964 年生, 山东大学 (济南, 250061) 机械工程学院副教授。主要从事制造过程自动化和石材工程技术方面的研究。E-mail: wzhi@sdu.edu.cn

(收稿日期: 2005-06-27)

(编辑: 王 琴)