

文章编号: 1006-852X(2006)02-0001-04

新型组合式金刚石圆锯片热应力分析^{*}

张进生 王志 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 针对加工大幅面石材制品的市场需求,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,并对其进行了结构、功能分析。针对圆锯片基体的适张处理,在考虑切削热影响的情况下,应用 ANSYS 对新型组合式金刚石圆锯片基体进行应力、变形分析。结果表明:组合式金刚石圆锯片基体受温度影响较大,由于切削热的存在产生了较大的热应力和变形量,最大热应力发生在结块焊接处及节块外边缘,最大为 315 MPa。应力分析为基体的适张处理和稳定性设计提供理论依据和参考。

关键词 金刚石圆锯片; 组合式; 适张处理; 热应力

中图分类号 TQ164 **文献标识码** A

Thermal stress analysis of new combined diamond saw blades

Zhang Jinsheng Wang Zhi Wangxue li

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

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

Abstract A new combined diamond saw blade was brought forward for market demand of stone product of which the cutting breadth can reach two thirds of its diameter. Structure and function analysis of the new combined saw blade were carried out. For tensile disposal of saw blade, the cutting heat was considered when analysing the stress and deformation of the new combined diamond saw blade by applying ANSYS. The results indicated that the influence of temperature on combined diamond saw blade is more obvious than conventional diamond saw blade. Thermal stress and noticeable deformation were generated because of the cutting heat. The maximum stress was generated at the welding point and the edge of the segment, which reached to 315 MPa. Finally, the stress analysis offers theoretic foundation and reference for tensile disposal and stability design of saw blade.

Keywords diamond saw blade; combined; tensile disposal; thermal stress

1 引言

金刚石圆锯片在锯切过程中产生的大量热会使金刚石结块和基体温度不均匀,造成锯片基体产生一定的温度梯度,生成热应力。由于热应力的存在,使得圆锯片振动模态的固有频率降低,振动加剧。压应力会降低横向稳定性,拉应力会提高锯片的动态性能。因此,圆锯片在使用前要进行一定的适张度处理,即在锯片基体上施加适当的切向残余拉应力,以抵消锯片在锯切过程中产生的切向热压应力。目前对锯片适张处理最有效的办法就是辊压法,了解基体内部的热应力

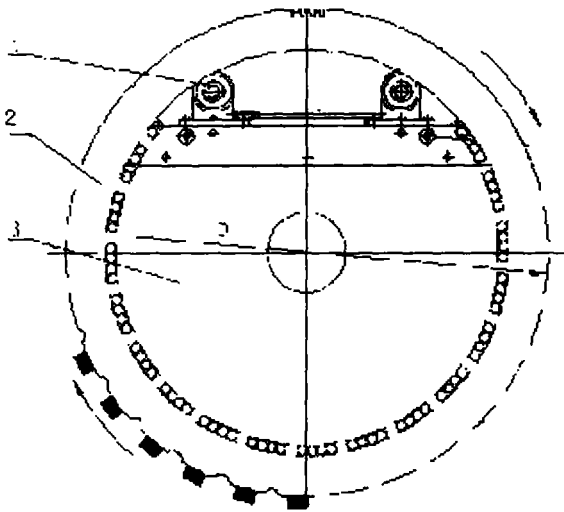
分布对锯片基体的适张处理有理论指导的作用^[1]。

2 热应力分析

应用创新设计原理,基于普通圆锯片、圆盘锯机的功能分析,将圆锯片分解为切割功能模块、支撑功能模块和驱动功能模块。通过对不同功能模块创新、变形、重组,提出新型组合式金刚石圆锯片设计方案,切割幅面可达到直径的 $2/3$ 如图 1 所示^[2]。

在几何参数一定的情况下,锯片的稳定性主要取决于内应力。适张处理使基体达到最佳的应力状态,就能设计出性能稳定的锯片。本文应用 ANSYS 对此

*山东省自然科学基金资助项目(Y2003F11)



1 驱动功能模块 2 切割功能模块 3 支撑功能模块

图 1 新型组合式圆锯片概念设计示意图

新型组合式金刚石圆锯片基体进行热应力分析, 深入了解锯片的应力分布状态及其影响因素, 为其适张处理提供参考^[3]。

2.1 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圆周齿等宽、厚。基本结构参数如表 1 所示。

表 1 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。

2.2 载荷计算

(1) 锯切力计算 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 ^[4], 根据试验得出切削力公式如式 (1)^[5]。

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

式中 a_p —— 切割深度

v_f —— 进给量

B —— 金刚石节块宽度

取 $a_p = 12\text{mm}$, $v_f = 0.5\text{m/min}$, $B = 8\text{mm}$, 求得 $F_n = 135.97\text{N}$, $F_t = 44.45\text{N}$ 。在同一时刻有三个齿参加

切削。将 F_n 和 F_t 平均分配到三个齿上。

(2) 温度载荷计算 金刚石圆锯片在切割石材的过程中将产生大量的热, 金刚石圆锯片导热性能好, 而石材是热的不良导体, 切割过程中产生的热来不及散发, 大部分传入金刚石圆锯片。有资料证明, 热压应力是造成锯片失稳的主要原因。因此温度成为热应力分析中的主要载荷。华侨大学对金刚石圆锯片锯切花岗岩锯切温度进行了深入的研究, 详细分析了锯切过程中金刚石节块表面温度的分布特点^[6,7]。根据热传导公式:

$$\nabla t = Q \times R_\lambda = \frac{Q \times \delta}{k \times A} = \frac{F_t \times S \times \delta}{k \times A} \quad (2)$$

式中 F_t —— 切向力

S —— 金刚石圆锯片的切削速度

δ —— 金刚石节块的传热厚度

k —— 导热系数, 在此指金刚石节块的导热系数, 一般取 $103\text{W/(m}\cdot\text{C)}$)

A —— 参加切削的节块的接触面积

可知, 温度升高约 300C 。有关资料也表明切割花岗岩时弧区温度范围为 $200 \sim 320\text{C}$ 。综合以上的研究结果, 最后取组合式金刚石圆锯片的温度载荷为 300C 。

(3) 对流系数计算 另外, 由于锯片的幅面较大, 在旋转过程中会产生空气强制对流, 对锯片起到散热的作用。经分析知, 基体部分空气对流系数 $27.87\text{W/(m}\cdot\text{C)}$, 槽口处的空气对流系数为 $758.87\text{W/(m}\cdot\text{C)}$ 。

施加载荷后的有限元模型如图 2 所示:

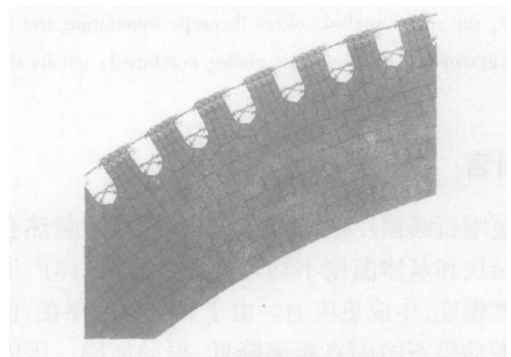


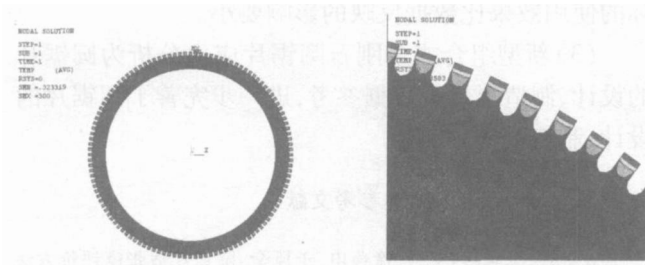
图 2 组合式金刚石圆锯片负载有限元模型

2.3 热应力计算结果分析

为处理数据方便, 对同直径大小的金刚石圆锯片进行热应力分析, 比较对照两种锯片有限元分析数据, 使得对组合式金刚石圆锯片的分析有一定的参考性。

2.3.1 组合式金刚石圆锯片温度分布分析 组合式

金刚石圆锯片与普通金刚石圆锯片基体温度分布如图 3 所示。



a) 组合式金刚石圆锯片 b) 普通金刚石圆锯片
图 3 两种锯片温度分布比较

从图 3 两种锯片的温度分布云图和列表结果看:

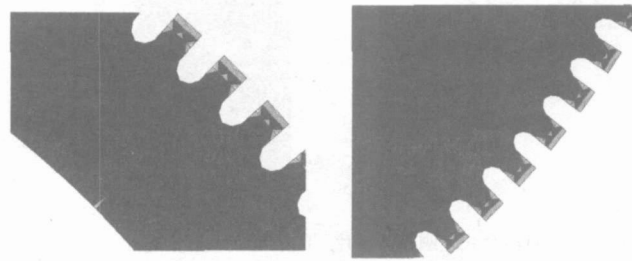
- ① 锯片的温度分布由外向内逐渐降低, 相对较高温度都分布在锯片的切割边缘, 即节块、节块和锯片的焊接部位, 温度从 300°到 180°左右不等;
- ② 节块与基体的焊接部位温度呈弧状分布, 过了弧状区温度迅速降低到几十度乃至几度, 这与资料 [6] 得出的结论基本一致;
- ③ 弧区的温度不高, 从几十度到一百几度之间, 磨粒温度相对较高, 在 300°左右, 这样的温度不会使磨粒石墨化, 但会使磨粒与结合剂产生摩擦反应, 最终导致金刚石节块的失效, 而这是不可避免的;
- ④ 新型组合结构圆锯片同普通金刚石圆锯片相比, 温度分布不如普通金刚石圆锯片均匀, 且同一部位上温度较高, 但不是太大, 说明新型组合结构圆锯片基体受温度影响规律同普通金刚石圆锯片相似, 原因在于两者之间的结构相似。不同之处在于新型组合结构圆锯片基体是一个环体, 但由于锯片基体本身尺寸较大, 热传导的作用很难扩展到锯片的整体。

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)

应力类别 锯片类型	第一主应力			第三主应力	
	X 向 $\sigma_{xm\ ax}$	Y 向 $\sigma_{ym\ ax}$	Z 向 $\sigma_{zm\ ax}$	$\sigma_{1m\ ax}$	$\sigma_{3m\ ax}$
组合式金刚石圆锯片	0.35084	0.35084	0.40427	0.35088	-0.19454
普通金刚石圆锯片	E+09	E+09	E-23	E+09	E+09
普通金刚石圆锯片	0.34793	0.34793	0.41434	0.34793	-0.19541
组合式金刚石圆锯片	E+09	E+09	E-23	E+09	E+09

2.3.2 组合式金刚石圆锯片热应力分析 单纯从温度上很难看出锯片的温度分布对锯片使用性能的影响。评价锯片动态性能, 对锯片进行适张处理, 就一定要了解锯片的热应力分布情况^[8]。要了解锯片的热应力分布, 就需要转换温度载荷施加到结构分析有限元模型上。图 4 是从第三强度理论^[9]出发考虑得出的

组合式金刚石圆锯片和普通金刚石圆锯片的应力分布图。



a) 组合式金刚石圆锯片 b) 普通金刚石圆锯片

图 4 组合式金刚石圆锯片和普通金刚石圆锯片第一主应力

从图 4 彩色云图上可以看出:

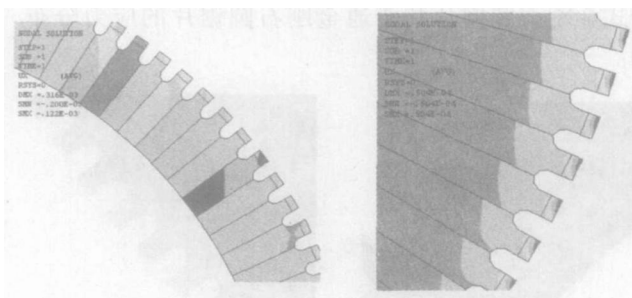
- ① 新型组合结构圆锯片和普通金刚石圆锯片的应力分布规律相似, 最大热应力基本分布在金刚石节块同锯片基体的焊接边缘部分、水槽以内, 锯片基体的热应力大小一般小于 0.375×10^8 Pa 新型组合结构圆锯片与辅助轮接触的部分热应力也较大;
- ② 结合表 3-12 新型组合结构圆锯片各个方向的热应力都要大于普通金刚石圆锯片, Z 方向的热应力相对较小, 可以忽略不计;
- ③ 65Mn 的安全许用应力为 270MPa 根据第三强度理论, $\sigma_1 - \sigma_3 \leq 270MPa$ 新型组合结构圆锯片基体的第一主应力小于 0.375×10^8 , 第三主应力则小于 -0.217×10^8 , 根据第三强度理论, 在未进行适张处理前, 锯片基体的热应力在安全许用应力之内。但锯片基体与金刚石节块焊接时应适当处理;
- ④ 考虑到新型组合结构圆锯片基体以辅助轮的方式固定, 而辅助轮本身对锯片基体起到一定的辊压作用, 所以实际工作的新型组合结构圆锯片受热应力的影响要比数据上反应出来的小。

表 3 组合式金刚石圆锯片和普通金刚石圆锯片变形

变形类型 锯片类别	USUM 变形量最大值			
	X 方向变形量最大值	Y 方向变形量最大值	Z 方向变形量最大值	USUM 变形量最大值
组合式金刚石圆锯片	0.19995E-03	0.31573E-03	0.68549E-18	0.31578E-03
普通金刚石圆锯片	0.50407E-04	0.50407E-04	0.33637E-20	0.50420E-04

由图 5 可以看出:

- ① 新型组合结构圆锯片和普通金刚石圆锯片的位移分布同它们的热应力分布相似: 普通金刚石圆锯片最大位移发生在锯片的边缘部分, 新型组合结构圆锯片的最大位移除了边缘部分外由于辅助轮的影响, 在



a) 组合式金刚石圆锯片 b) 普通金刚石圆锯片

图 5 组合式金刚石圆锯片和普通金刚石圆锯片 X 向变形

基体与辅助轮的接触部分变形也比较大;

②同普通金刚石圆锯片相比, 新型组合结构圆锯片的变形区域相对较大, 整个切割外环变形均匀; 而普通金刚石圆锯片变形区域呈现一定的阶梯分布, 相对较大的变形区仅仅发生在宽水槽附近, 且范围较小;

③结合表 3 新型组合结构圆锯片各个方向的变形量相对较大, X 方向的变形大约是普通金刚石圆锯片的两倍, Y 方向的变形量大约是普通圆锯片的 6 倍, 但是仅仅 0.31mm, 而 Z 方向的变形量可以忽略。

4 结论

在考虑切削热的情况下对新型组合式金刚石圆锯片进行了应力分析, 详细描述了锯片的应力分布特点, 为锯片适张处理和稳定性设计提供了理论依据。

(1) 切削过程中, 组合式金刚石圆锯片比普通金刚石圆锯片受温度的影响较大, 产生了较大的热应力。基体温度分布均匀, 热应力数量级在 10^8 , 根据第三强度理论, 热应力没有超出材料的安全许用应力范围。基体与节块焊接处及节块外边缘热应力值较大, 数量级在 10^9 , 最大 $\sigma_1 - \sigma_2$ 为 315MPa 所以锯片在使用前要进行残余应力处理。

(2) 组合式金刚石圆锯片受温度的影响变形量较普通金刚石圆锯片大, 但考虑到辅助轮的辊压作用, 实际的使用效果比数据反映的影响要小。

(3) 新型组合式金刚石圆锯片应力分析为圆锯片的设计、制造提供了数据参考, 进一步完善了圆锯片的设计、制造理论。

参考文献

- 1 张大卫, 耿德旭, 刘宝善, 徐燕申, 于风金. 圆锯片适张度评价方法 [J]. 天津大学学报, 1995 28(2): 244-248
- 2 张进生, 王志. 一种金刚石圆锯片 [P]. 中国发明专利, 02110005 5
- 3 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
- 4 赵民, 郑春歧, 张丽秀. $\varnothing 1600$ mm 金刚石圆锯片的有限元分析 [J]. 石材, 1999(2)
- 5 李远, 黄辉, 朱火明, 徐西鹏. 花岗石锯切过程中的锯切力特征 [J]. 金刚石磨料磨具工程, 2002 4(130): 15-19
- 6 黎志国. 特殊结构金刚石圆锯片的力学性能研究 [D]. 广西大学机械工程学院硕士学位论文, 2002 6 2-79
- 7 哈尔滨工业大学, 上海工业大学主编. 机械制造工艺理论基础 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- 8 于怡青, 李远, 黄辉, 徐西鹏. 锯切花岗石时金刚石节块表面温度特征分析 [J]. 金刚石与磨料磨具工程, 1999 2(110): 2-5
- 9 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

张进生, 男, 1962 年生, 山东大学 (济南, 250061) 机械工程学院教授。主要从事制造过程自动化、新型建材与建设机械和石材工程技术方面的研究开发, 取得成果 20 余项, 专利 8 项, 获省部级奖励 10 项。出版著作 6 部, 发表论文 50 余篇。

(收稿日期: 2005-11-15)

(编辑: 王琴)

书 讯

杂志社新到行业新书:《金刚石与金刚石工具》含邮费 40 元、《金刚石工具制造理论与实践》含邮费 75 元、《新型金刚石工具研究》含邮费 40 元。

地址: 郑州市华山路 121 号

邮编: 450013

联系人:《金刚石与磨料磨具工程》杂志社

本社有创刊以来所有期刊内容电子 (光盘) 版, 有需求者请联系 0371-67640348